



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

AUDIOPŘEDZESILOVAČ S PŘEPÍNÁNÍM VSTUPŮ

AUDIO PREAMPLIFIER WITH INPUT SELECTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Starčok

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Mikroelektronika**
Ústav mikroelektroniky

Student: Bc. Tomáš Starčok

ID: 146961

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Audiopředzesilovač s přepínáním vstupů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte audio předzesilovač s přepínáním vstupů. Analogová část bude řešená s diskrétními součástkami. Zdrojová část bude řešená s důrazem na nejlepší potlačení rušivých složek z napájecí sítě. Zařízení bude řízeno mikrokontrolérem, pro který sestavte vhodný řídicí program. Na předzesilovači proveďte soubor základních měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 25.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Lukáš Fujcik, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce sa zaoberá návrhom audiopredzosilňovača s prepínaním vstupov. Popisuje všetky navrhnuté časti tohoto zariadenia. Vyberá a popisuje všetky použité komponenty. Popisuje celý postup návrhu elektroniky tohoto zariadenia. Následne popisuje návrh, výrobu, osadenie a oživenie DPS. V závere ukazuje dosiahnuté výsledky a elektrické parametre zariadenia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

predzosilňovač, audio, prepínač, mikrokontrolér, OLED, DPS

ABSTRACT

This thesis deal with the audio preamplifier with input selector. It describes all designed parts of this device. It selects and describes all suitable components. Describes the whole process of electronics design in this device. Then describes the design, manufacture, assembling and testing of the PCB. In conclusion it shows the achieved results and electrical parameters of the device.

KEYWORDS

preamplifier, audio, selector, microcontroller, OLED, PCB

STARČOK, Tomáš. *Audiopředzesilovač s přepínáním vstupů*. Brno, 2017, 119 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedúci práce: doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju diplomovou prácu na tému „Audiopředzesilovač s přepínáním vstupů“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej diplomovej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto diplomovej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Touto cestou chcem poďakovať pánovi doc. Ing. Josefu Šanderovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní diplomovej práce, ďalej pánovi Ing. Alexandrovi Otáhalovi za pomoc pri osadzovaní dosiek plošných spojov, a na záver svojej rodine za materiálnu a psychickú podporu.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	13
1 Koncepcia predzosilňovača	14
1.1 Základné požiadavky na predzosilňovač	14
1.2 Bloková schéma predzosilňovača	14
1.3 Mechanické prevedenie predzosilňovača	16
2 Elektronika predzosilňovača	17
2.1 Mikrokontrolér	17
2.2 OLED	18
2.3 Tlačidlá, enkodér a indikačná LED	19
2.4 IR prijímač	22
2.5 I ² C expandér	23
2.6 Vstupy	24
2.7 Výstupy	26
2.8 Detekcia pripojených slúchadiel	27
2.9 Externé ovládanie zapnutia/vypnutia	29
2.10 Relátkový attenuátor	30
2.11 Analógová časť	32
2.12 Napájacia časť	38
2.12.1 EMI filter	38
2.12.2 Napájanie digitálnych častí	38
2.12.3 Zvyšujúci menič pre OLED	39
2.12.4 Pomocné lineárne stabilizátory	40
2.12.5 Napájanie analógových častí	41
3 Skrinka predzosilňovača	44
4 Realizácia predzosilňovača	45
4.1 Návrh DPS	45
4.2 Výroba a osadenie DPS	45
4.3 Oživenie a testovanie	45
5 Software predzosilňovača	47
Záver	48
Literatúra	49

Zoznam symbolov, veličín a skratiek	51
Zoznam príloh	52
A Výrobná dokumentácia	53
A.1 Schémy	53
A.2 DPS	67
A.3 Zoznamy súčiastok	97
A.4 Výkresy	106
B Fotodokumentácia	118

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Bloková schéma predzosilňovača	15
1.2	Prístrojová skrinka MODU, typ 1NSL01280B	16
2.1	Schéma zapojenia programovacieho a ladiaceho rozhrania SWD	17
2.2	Schéma zapojenia mikrokontroléru	18
2.3	Schéma zapojenia OLED	19
2.4	Schéma zapojenia tlačidiel	20
2.5	Schéma zapojenia tlačidla a LED	21
2.6	Schéma zapojenia tlačidla a LED na prednom paneli	21
2.7	Schéma zapojenia enkodéru	22
2.8	Schéma zapojenia enkodéru na prednom paneli	22
2.9	Schéma zapojenia IR prijímača	23
2.10	Schéma zapojenia I ² C expandéru	24
2.11	Schéma zapojenia prepínania vstupov	25
2.12	Schéma zapojenia prepínania výstupov	26
2.13	Schéma zapojenia prepínania vstupov pre slúchadlá	27
2.14	Schéma zapojenia detekcie pripojených slúchadiel	28
2.15	Schéma zapojenia externého ovládania	29
2.16	Schéma zapojenia externého ovládania	30
2.17	Schéma zapojenia vstupného článku v relátkovom attenuátore	31
2.18	Schéma zapojenia výstupného článku v relátkovom attenuátore	32
2.19	Modelová schéma predzosilňovača s diferenčným rozkmitovým stup- ňom (prevzaté z [13])	33
2.20	Schéma zapojenia diferenčného stupňa predzosilňovača	34
2.21	Schéma zapojenia rozkmitového stupňa predzosilňovača	35
2.22	Schéma zapojenia koncového stupňa predzosilňovača	36
2.23	Schéma zapojenia korekcie offsetu predzosilňovača	37
2.24	Schéma zapojenia sieťovej časti a EMI filtra	38
2.25	Schéma zapojenia napájacieho zdroja pre digitálnu časť	39
2.26	Schéma zapojenia lineárneho +5 V stabilizátora	40
2.27	Schéma zapojenia zvyšujúceho meniča pre OLED	40
2.28	Schéma zapojenia pomocného lineárneho +3,3 V stabilizátora	41
2.29	Schéma zapojenia pomocného lineárneho +3,3 V stabilizátora	41
2.30	Schéma zapojenia napájacieho zdroja pre analógovú časť	42
2.31	Schéma zapojenia sériového lineárneho regulátora pre +20 V	43
2.32	Schéma zapojenia sériového lineárneho regulátora pre -20 V	43
3.1	Pohľad na mechanický návrh celého zariadenia v programe Solidworks	44
4.1	Proces naniesenia spájkovacej pasty na DPS cez šablónu	46

5.1	Ukážka nastavenia inicializácie vývodov MCU v programe CubeMX .	47
A.1	Vodivý motív - vrchná strana	67
A.2	Vodivý motív - prvá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)	67
A.3	Vodivý motív - druhá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)	68
A.4	Vodivý motív - spodná strana	68
A.5	Servisná potlač - vrchná strana	69
A.6	Montážny výkres - vrchná strana	69
A.7	Montážny výkres - spodná strana	70
A.8	Vodivý motív - vrchná strana	71
A.9	Vodivý motív - spodná strana	71
A.10	Servisná potlač - vrchná strana	72
A.11	Montážny výkres - vrchná strana	72
A.12	Vodivý motív - vrchná strana	73
A.13	Vodivý motív - spodná strana	73
A.14	Servisná potlač - vrchná strana	74
A.15	Montážny výkres - vrchná strana	74
A.16	Vodivý motív - vrchná strana	75
A.17	Vodivý motív - spodná strana	76
A.18	Servisná potlač - vrchná strana	77
A.19	Montážny výkres - vrchná strana	78
A.20	Vodivý motív - vrchná strana	79
A.21	Vodivý motív - prvá vnútorná vrstva	80
A.22	Vodivý motív - druhá vnútorná vrstva	81
A.23	Vodivý motív - spodná strana	82
A.24	Servisná potlač - vrchná strana	83
A.25	Montážny výkres - vrchná strana	84
A.26	Vodivý motív - vrchná strana	85
A.27	Vodivý motív - spodná strana	86
A.28	Servisná potlač - vrchná strana	87
A.29	Montážny výkres - vrchná strana	88
A.30	Nevodivý motív - priama neprekovená fréza	89
A.31	Vodivý motív - vrchná strana	90
A.32	Vodivý motív - prvá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)	91
A.33	Vodivý motív - druhá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)	92
A.34	Vodivý motív - spodná strana	93
A.35	Servisná potlač - vrchná strana	94
A.36	Montážny výkres - vrchná strana	95
A.37	Montážny výkres - spodná strana	96
B.1	Predný pohľad na hotové zariadenie v pohotovostnom stave	118

B.2	Predný pohľad na hotové zariadenie v zapnutom stave	118
B.3	Zadný pohľad na hotové zariadenie	119
B.4	Vrchný pohľad na hotové zariadenie bez krytu	119

ZOZNAM TABULIEK

ÚVOD

Cielom tejto práce je navrhnuť audiopredzosilňovač s prepínaním vstupov, teda zariadenie ktorého hlavnou úlohou bude zosilňovať analógový signál z ľubovoľných zdrojov signálu. Najhlavnejšou časťou každého predzosilňovača je analógový modul, ktorý zosilňuje signál na požadovaný úroveň.

Prvá kapitola sa zaoberá koncepciou a rozborom požadovaných parametrov zariadenia, stanovuje blokovú schému a vyberá mechanické prevedenie celého zariadenia

Druhá kapitola detailne popisuje návrh elektroniky ako sú mikrokontrolér, OLED, tlačidlá, enkodér, indikačná LED, IR prijímač, I/O expandér, vstupné obvody, výstupné obvody, detekciu pripojených slúchadiel, externé ovládanie zapnutia a vypnutia, relátkový attenuátor, analógovú časť a celú napájaciu časť.

Tretia kapitola sa zaoberá mechanickým návrhom celej prístrojovej skrinky, kde popisuje jednotlivé mechanické diely.

Štvrtá kapitola popisuje celú realizáciu zariadenia od návrhu DPS až po testovanie.

1 KONCEPCIA PREDZOSILŇOVAČA

Ešte pred návrhom elektroniky predzosilňovača je potrebné spraviť rozbor požiadaviek na funkcie a vlastnosti, následne navrhnuť celkovú blokovú schému a nakoniec zvoliť vhodné mechanické prevedenie zariadenia.

1.1 Základné požiadavky na predzosilňovač

Zariadenie by malo mať nasledovné funkcie a vlastnosti, na ktoré je nutné brať ohľad už počas návrhu samotnej elektroniky,

- analógový modul riešený diskretnými súčiastkami,
- možnosť prevádzky slúchadiel s impedanciou v rozmedzí 32 až 600 Ω ,
- regulácia hlasitosti relátkovým attenuátorom,
- prepínanie vstupov a výstupov relátkami,
- zobrazovanie jednofarebným grafickým OLED,
- tlačítka pre zapnutie/vypnutie a krížové menu,
- rotačný enkodér s integrovaným tlačítkom pre reguláciu hlasitosti,
- nízko-profilový dizajn prístrojovej skrinky,
- minimálna spotreba v nečinnom/pohotovostnom stave,
- vysoká účinnosť napájacích zdrojov v zariadení,
- signalizácia Power-on a Standby stavu,
- napájanie zo siete 230 V AC,
- návrh s ohľadom na EMC a nízke EMI,
- prevádzka v rozsahu teplôt 0 °C až +70 °C,

1.2 Bloková schéma predzosilňovača

Na základe uvedených požiadaviek a vlastností predzosilňovača bolo možné navrhnuť blokovú schému celého zariadenia, ktorá je zobrazená na obrázku 1.1. Hlavnou časťou celého zariadenia je zvolený 32-bitový mikrokontrolér STM32F030CCT6, ktorý komunikuje s ostatnými perifériami.

Zariadenie obsahuje prepínanie vstupov a užívateľovi ponúka možnosť pripojenia až ôsmich nezávislých zdrojov analógového stereo signálu. Vždy môže byť zvolený iba jeden z pripojených zdrojov signálu.

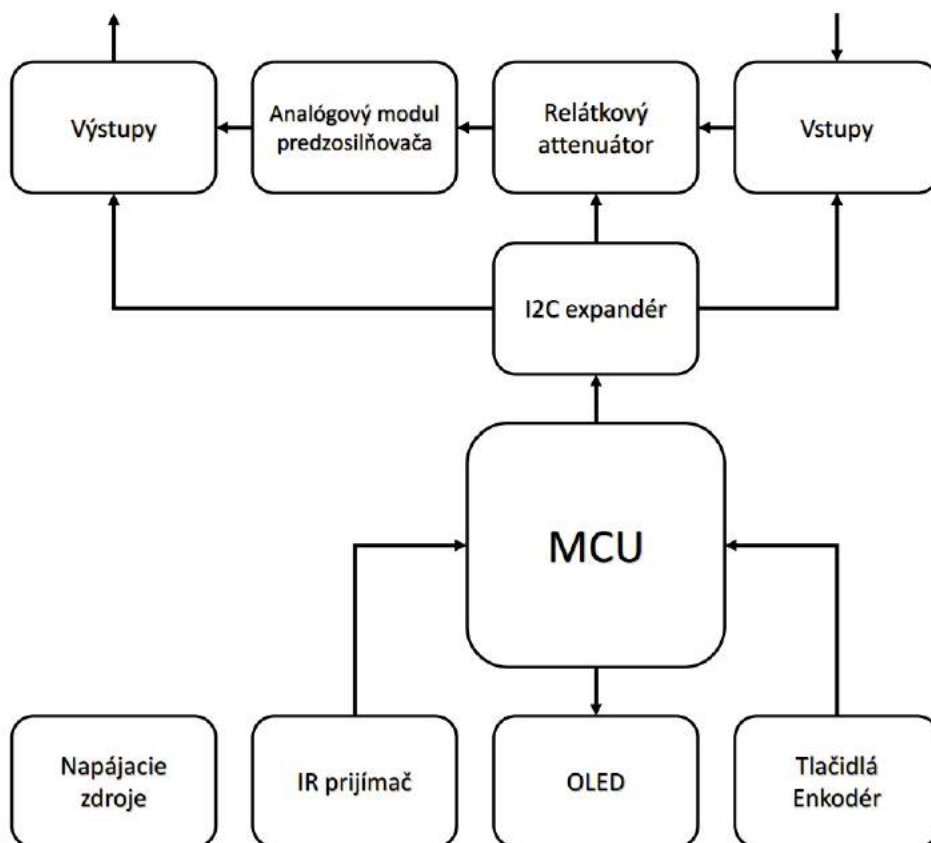
Ovládanie úrovne vstupného signálu je realizované prostredníctvom relátkového attenuátora, ktorý ponúka precíznejšiu reguláciu ako otočný potenciometer.

Analógová časť predzosilňovača zabezpečuje zosilnenie vstupného signálu. Táto časť je riešená diskretnými súčiastkami pre dosiahnutie požadovaných parametrov

predzosilňovača. Hodnota zosilnenia modulu predzosilňovača je konštantná.

Zariadenie ďalej obsahuje prepínanie výstupov, kde je možnosť pripojenia štyroch zariadení so štandardnými linkovými vstupmi alebo štyroch rôznych slúchadiel. Opätovne môže byť zvolený iba jeden aktívny výstup.

Riadenie prepínania vstupov, výstupov a attenuátora je realizované I/O expandérom, ktorý s mikrokontrolérom komunikuje cez I²C rozhranie. Dôvodom implementácie tohoto obvodu je výrazné zredukovanie počtu potrebných prepojovacích vodičov.



Obr. 1.1: Bloková schéma predzosilňovača

Užívateľské rozhranie je tvorené displejom, tlačidlami, rotačným enkodérom a IR prijímačom. Všetky uvedené ovládacie prvky sú rozmiestnené na prednom paneli. Pre zobrazenie aktuálnych hodnôt bol zvolený jednofarebný grafický OLED. Jedným tlačidlom sa zariadenie zapne alebo vypne do standby režimu. Ďalších päť tlačidiel bolo použitých na krížové ovládanie všetkých funkcií prístroja. Rotačný enkodér s integrovaným tlačidlom slúži výhradne na ovládanie hlasitosti a funkcie Mute. IR prijímač umožňuje diaľkové ovládanie prostredníctvom IR ovládača.

Napájacie zdroje poskytujú požadované napájacie napätia pre jednotlivé časti zariadenia. Zdroje pre analógovú časť majú symetrické napätie $\pm 20\text{ V}$ a zdroj pre

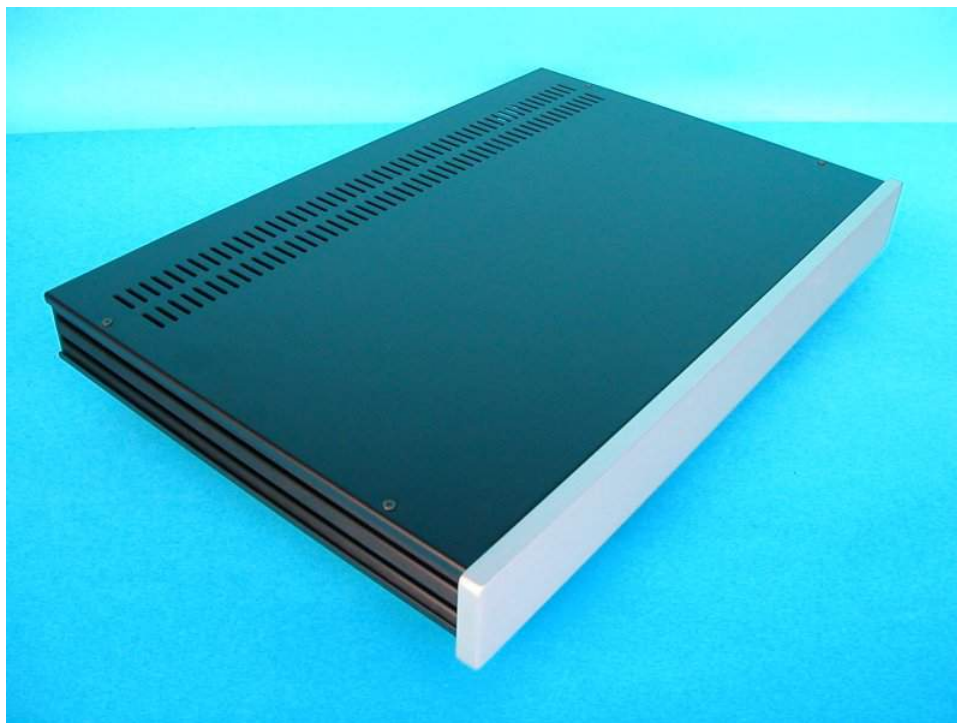
digitálnu časť má napätie +5 V. Z týchto hlavných napätí sú následne odvodené ďalšie potrebné napájacie napätia pre mikrokontrolér, OLED a I/O expandér.

Funkcie jednotlivých blokov a spôsob komunikácie s mikrokontrolérom sú detailnejšie popísané v nasledovnej kapitole.

1.3 Mechanické prevedenie predzosilňovača

Pred návrhom elektroniky je nutné vopred zvoliť vhodnú koncepciu z pohľadu mechanického prevedenia prístrojovej skrinky a dosiek plošných spojov. Podľa stanovených požiadaviek, ktorými bol hlavne nízko-profilový dizajn, bola z cenového hľadiska zvolená prototypová prístrojová skrinka MODU od spoločnosti Hi-Fi 2000. Skrinky MODU sú štandardne dostupné v rôznych formátoch a veľkostiach. Presné označenie zvolenej skrinky je 1NSL01280B [1].

Celkové vonkajšie rozmery tejto skrinky sú $435 \times 280 \times 40$ mm. Predný panel je z 10mm hliníka, zadný panel je z 3mm hliníka, obidve bočné steny sú z hliníkového profilu, vrchný a spodný kryt sú z oceľového plechu. Hliníkové diely sú povrchovo upravené kartáčovaním a eloxovaním, plechové diely sú upravené práškovým lakováním. Skrinky sa štandardne dodávajú ako stavebnica, teda všetky diely skrinky je najskôr potrebné poskladať. Vizuálny vzhľad novej poskladanej skrinky je uvedený na obrázku 1.2.



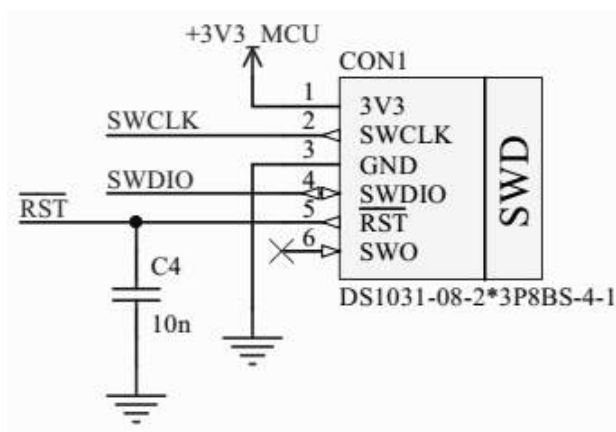
Obr. 1.2: Prístrojová skrinka MODU, typ 1NSL01280B

2 ELEKTRONIKA PREDZOSILŇOVAČA

V tejto kapitole budú detailne popísané jednotlivé časti celej elektroniky zariadenia.

2.1 Mikrokontrolér

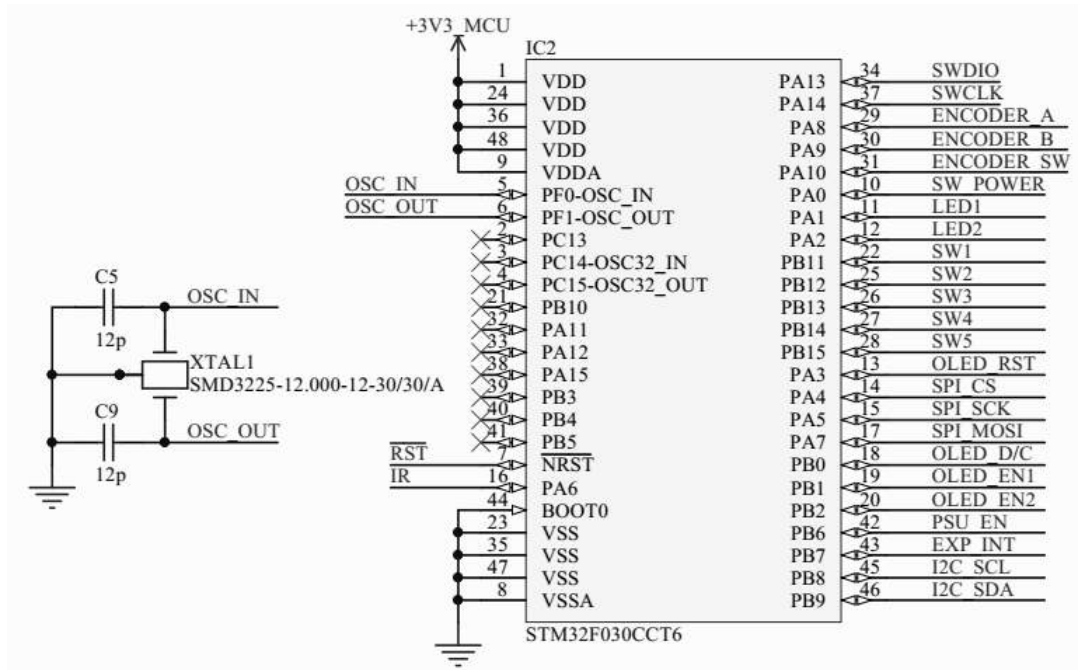
Zvolený mikrokontrolér tvorí hlavnú časť zariadenia, ktorá komunikuje s perifériami. Nominálna hodnota napájacieho napätia je 3,3 V. Napájacie napätie je privedené na všetky vývody s označením VDD a VDDA. Vývody s označením VSS a VSSA sú pripojené na nulový potenciál GND. Na vývody s označením PF0-OSC-IN a PF1-OSC-OUT je prepojený 12 MHz kryštál s označením SMD3225-12.000-12-30/30/A, ktorý je potrebný pre správne časovanie pri komunikácii cez SPI. Použitie interného oscilátora by v tomto prípade nebolo vhodné. Vývod NRST slúži na resetovanie MCU externým zariadením a zároveň môže resetovať externé obvody, v tomto prípade MCU môže resetovať I²C expandér. Vývod s označením PA6 bol využitý na spracovanie signálu z IR prijímača. Vývod s označením BOOT0 je pripojený na GND, nakoľko bootloader nie je požadovaný. Vývody PA13 a PA14 sú pripojené na konektor pre SWD programovacie a ladiace rozhranie, zapojenie tohoto konektora je zobrazené na 2.1. Na vývody PA8, PA9 a PA10 je pripojený rotačný enkodér, ktorý je súčasťou užívateľského rozhrania. Na vývody PA0 je pripojený tlačidlo, prostredníctvom ktorého je možné celé zariadenie zapnúť a vypnúť.



Obr. 2.1: Schéma zapojenia programovacieho a ladiaceho rozhrania SWD

Na vývody PA1 a PA2 je pripojená dvojfarebná LED, ktorá slúži ako indikácia zapnutého a pohotovostného režimu zariadenia. Na vývody PB11 až PB15 sú pripojené tlačidlá, ktoré sú súčasťou užívateľského rozhrania. Vývod PA3 je určený pre resetovanie OLED. Vývody PA4, PA5 a PA7 sú vyhradené pre SPI rozhranie

a konkrétne sa jedná o signály SPI-CS, SPI-SCK a SPI-MOSI. Vývod PB0 je pripojený na konfiguračný signál pre OLED. Vývody PB1 a PB2 ovládajú pomocné zdroje, ktoré je potrebné pre správnu funkciu OLED, zapínať a vypínať sekvenčným spôsobom. Vývod PB6 slúži na zapnutie a vypnutie napájacích zdrojov pre analógovú časť. Vývod PB7 bol využitý na spracovanie signálu prerušenia, ktorý generuje I²C expandér. Vývody PB8 a PB9 sú vyhradené pre I²C rozhranie, konkrétne sú to signály I²C-SCL a I²C-SDA. Schéma mikrokontroléru s jednotlivými signálmi je uvedená na obrázku 2.2

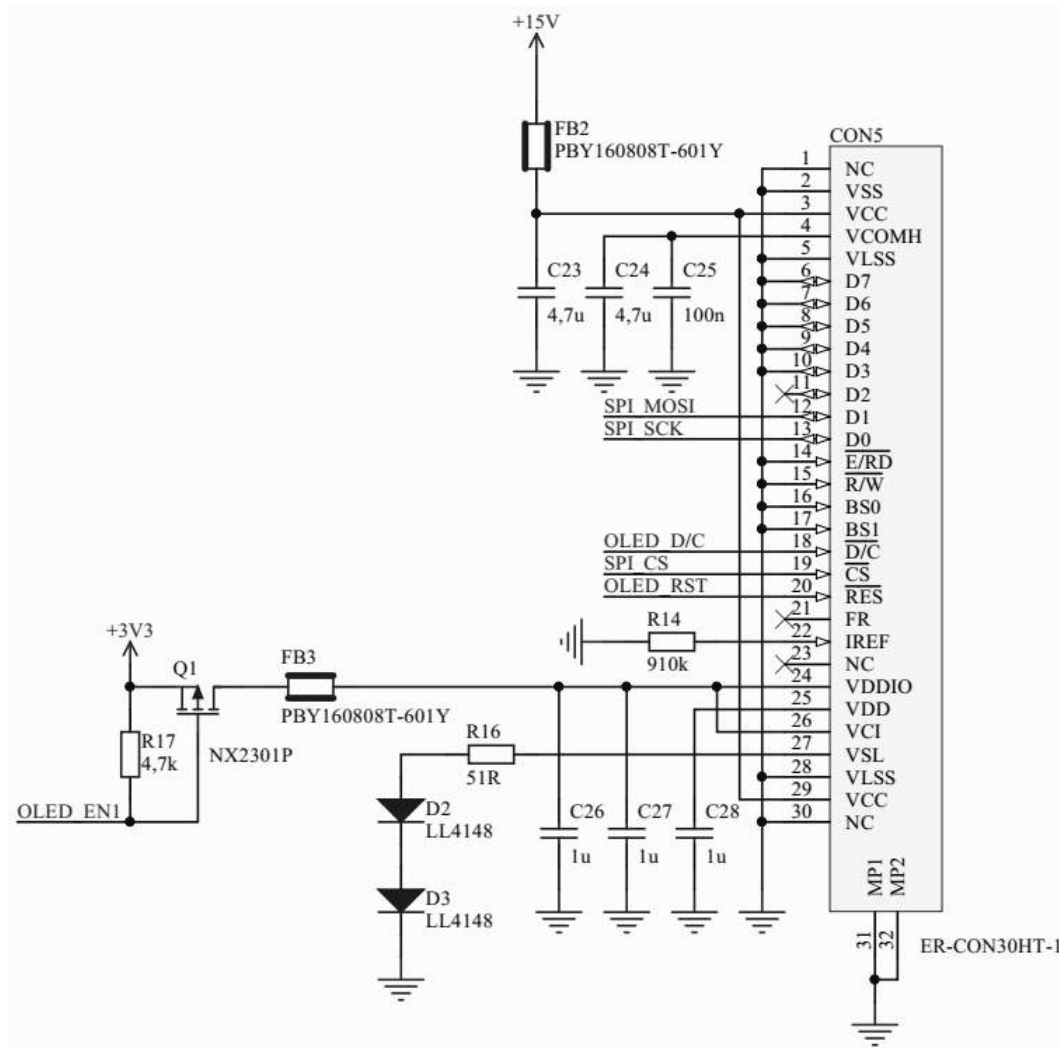


Obr. 2.2: Schéma zapojenia mikrokontroléru

2.2 OLED

Zvolený grafický OLED je súčasťou užívateľského rozhrania. Použitý OLED má označenie ER-OLED032-1W [2] a obsahuje radič s označením SSD1322 [4]. Uvedené zapojenie je prevzaté z aplikačného listu od výrobcu [3]. Aktívna matica OLED je napájaná napätím +15 V, ktoré je pripojené cez LC filter na vývody VCC. Filter je tvorený feritpvpou perlou FB2 a keramickým kondenzátorom C23. Referenčný prúd je nastavený rezistorom R14, ktorého hodnota je 910 k Ω . SPI rozhranie z MCU je pripojené na vývody D0, D1 a CS. Digitálna časť OLED je napájaná napätím +3,3 V, ktoré je pripojené cez LC filter na vývody VDDIO a VCI. Filter je tvorený feritovou perlou FB3 a keramickými kondenzátormi C26 a C27. Podľa katalógového listu je uvedený OLED potrebné zapínať a vypínať sekvenčne [2]. Na základe týchto

požiadaviek bol pridaný spínací mosfet Q1 typu P s označením NXP2301P, ktorým sa zapína a vypína digitálna časť OLED. Ďalej bol potrebný externý pull-up rezistor R17 s hodnotou 4,7 k Ω . Všetky ostatné súčiastky sú zapojené podľa doporučení z katalógového listu výrobcu. Použité blokovacie kondenzátory sú výhradne keramické s dielektrikom typu X7R alebo X5R. OLED je pripojený prostredníctvom 30-pinového FPC konektora. Celková schéma OLED je uvedená na obrázku 2.3.

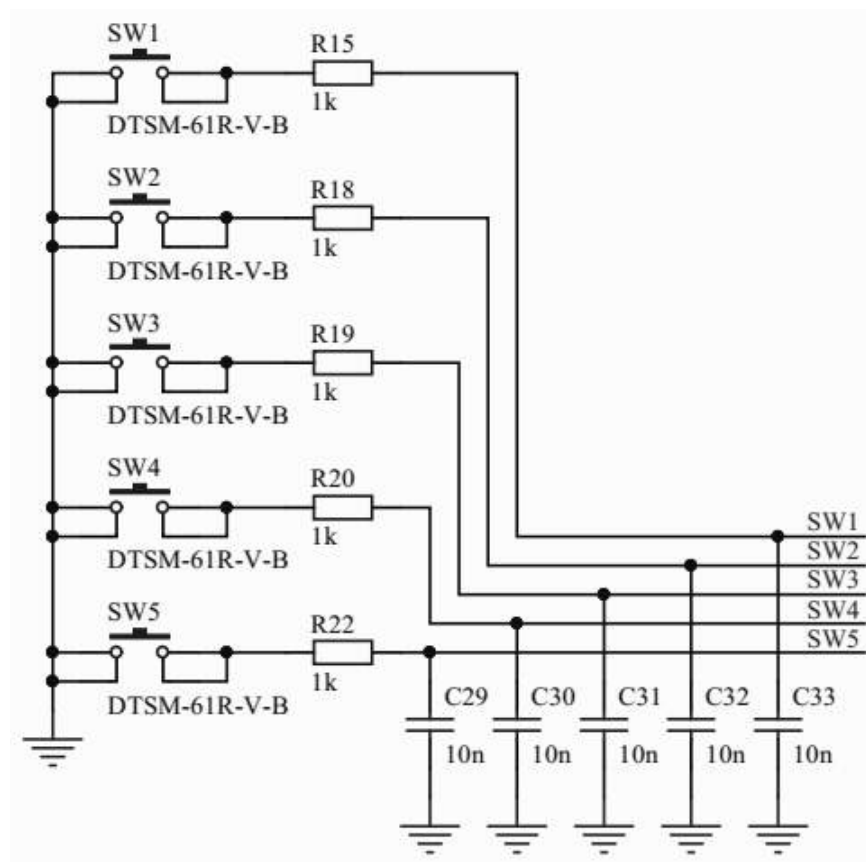


Obr. 2.3: Schéma zapojenia OLED

2.3 Tlačidlá, enkodér a indikačná LED

Pre jednoduché a pohodlné ovládanie zariadenia boli zvolené tlačidlá a rotačný enkodér. Zapojenie týchto tlačidiel SW1 až SW5 je uvedené na obrázku 2.4. Ku každému tlačidlu bol pridaný ešte RC filter, pre potlačenie zákmitov vznikajúci pri stlačení tlačidla. Týchto päť tlačidiel má funkciu krížového ovládača pre posun v ponuke

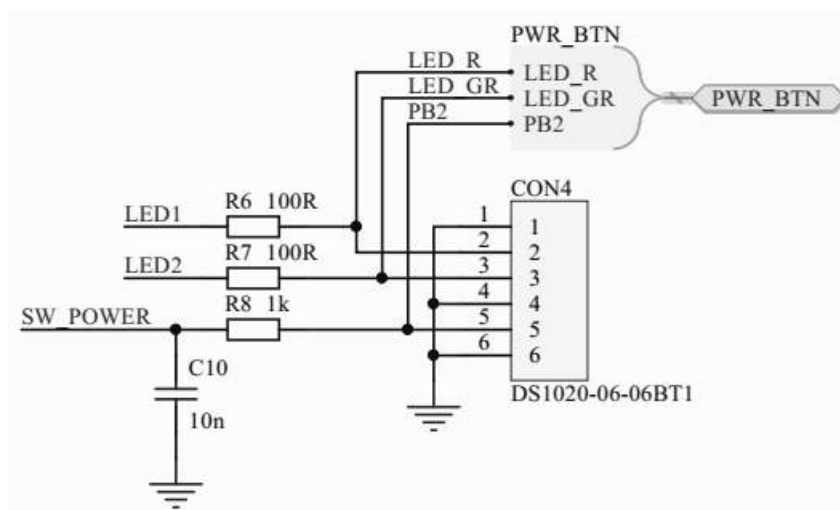
nastavení zariadenia a zmene požadovaných parametrov. Boli použité nízke tlačidlá v SMT prevedení s označením DTSM-61R-V-B.



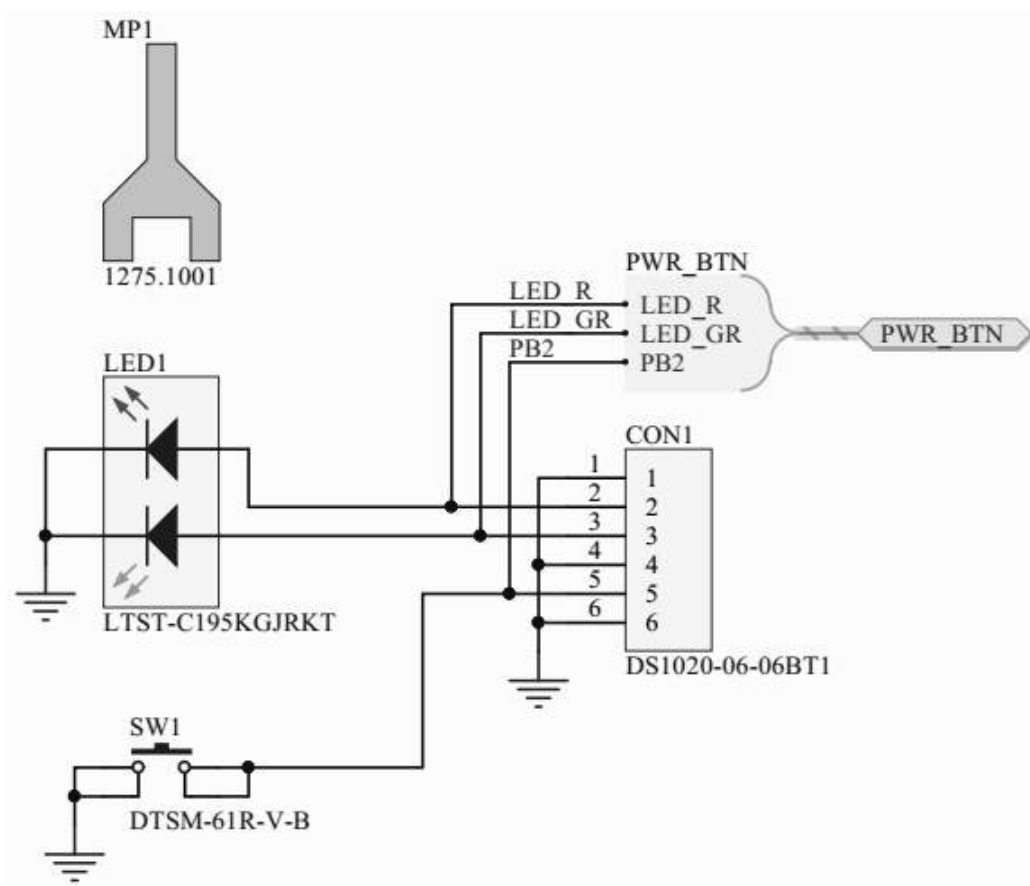
Obr. 2.4: Schéma zapojenia tlačidiel

Ďalšie tlačidlo SW1, ktoré je umiestnené osobitne má funkciu vypnutia a zapnutia zariadenia. Aj k tomuto tlačidlu bol pridaný RC filter pre potlačenie zákmitov. Pri tomto tlačidle je umiestnená dvojfarebná červeno-zelená LED, ktorá indikuje zapnutie a pohotovostný režim. Predradené rezistory R6 a R7 pre LED sa nachádzajú pri MCU a ich hodnota bola stanovená na 100Ω . Nad LED diódou je umiestnený svetlovod MP1 z priehľadného plastového materiálu pre usmernenie vyžarovania do požadovaného miesta na prednom paneli. Zapojenie indikačnej LED a tlačidla je uvedené na obrázkoch 2.6 a 2.5.

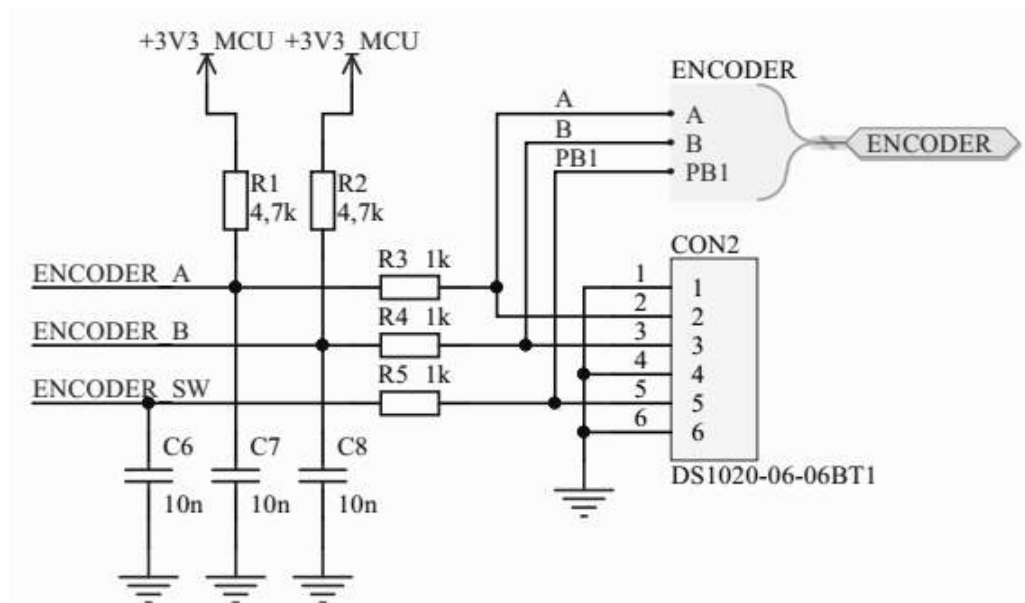
Ďalším užívateľským prvkom je rotačný enkóder, ktorý je umiestnený na prednom paneli a slúži na reguláciu hlasitosti zariadenia. Enkodér má v oske integrované tlačidlo, ktoré slúži na ovládanie funkcie Mute. Pre účel regulácie bol zvolený enkodér s 24 pulzami na jednu otáčku, označenie je PEC12R-4025F-S0024. Na obidva výstupy enkodéru boli pridané RC filtre a pull-up rezistory, podľa doporučení uvedených v katalógovom liste [5]. Zapojenie enkodéru je uvedené na obrázkoch 2.8 a 2.7.



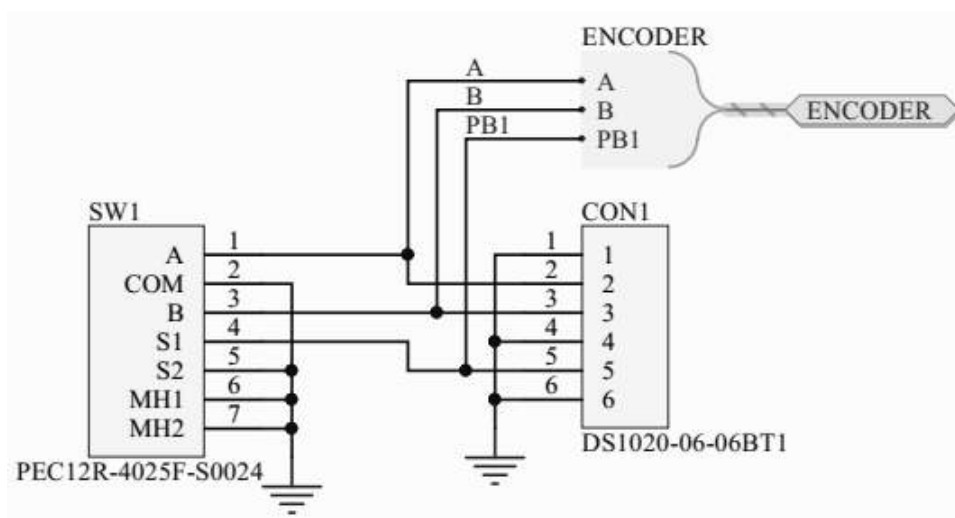
Obr. 2.5: Schéma zapojenia tlačidla a LED



Obr. 2.6: Schéma zapojenia tlačidla a LED na prednom panely



Obr. 2.7: Schéma zapojenia enkodéru

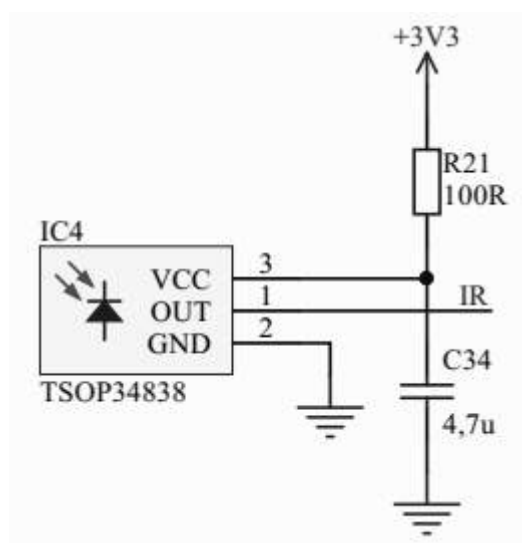


Obr. 2.8: Schéma zapojenia enkodéru na prednom panely

2.4 IR prijímač

Ďalším užívateľským prvkom je IR prijímač, ktorý slúži na príjem infračerveného signálu z diaľkového ovládača. Pre účely tejto práce bol zvolený typ prijímača, ktorý pracuje na nosnej frekvencii 38 kHz a umožňuje dekodovanie štandardného NEC IR protokolu. Zvolený prijímač má označenie TSOP34838 [6]. Podľa doporučenia v katalógovom liste bol na napájací vývod pridaný jednoduchý RC filter. Výstup prijímača je typu open-collector a pull-up rezistor je integrovaný, teda dekodovaný výstupný signál je pripojený priamo na MCU. Zapojenie IR prijímača je uvedené

na obrázku 2.9



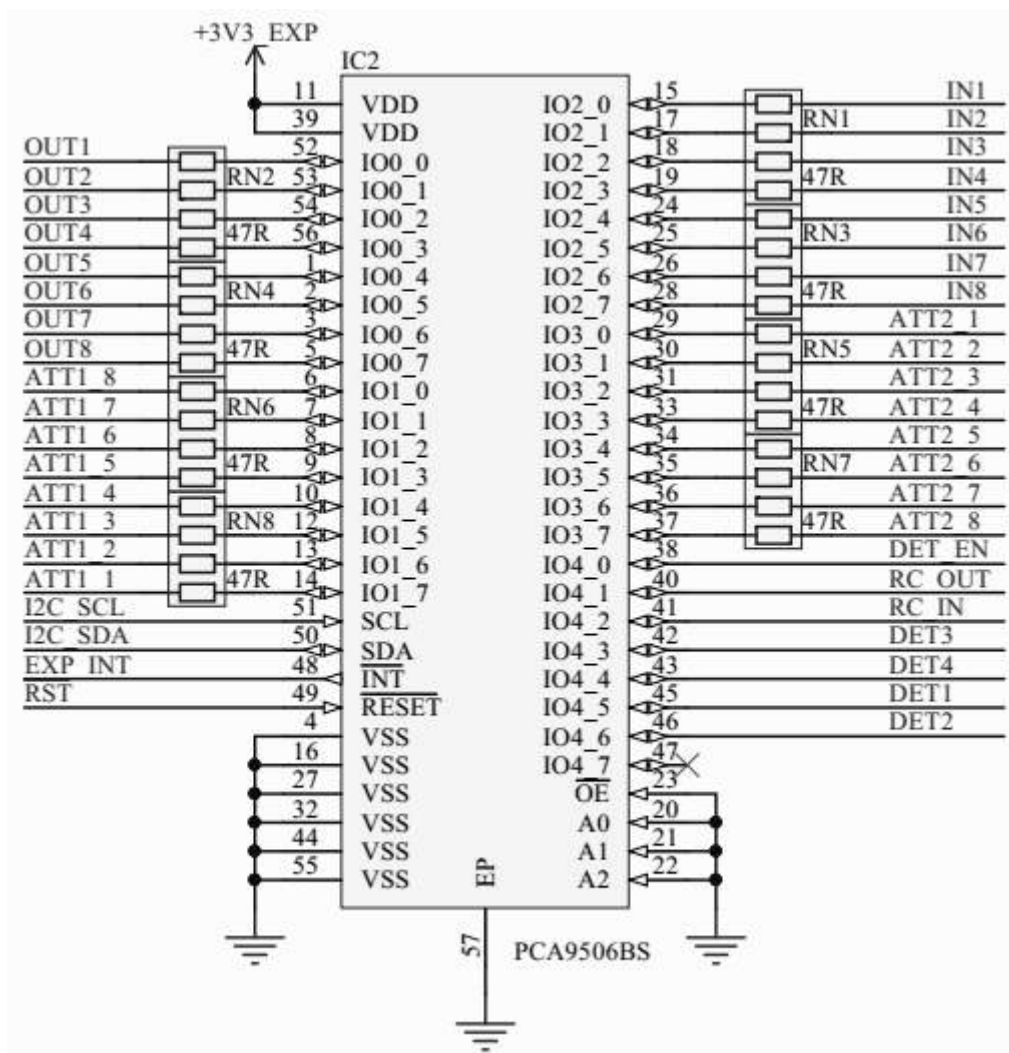
Obr. 2.9: Schéma zapojenia IR prijímača

2.5 I²C expandér

Použitie I/O expandéra bolo zvolené kvôli redukcii počtu vývodov, ktorými by v opačnom prípade muselo disponovať MCU, čo by bolo v tomto prípade oveľa náhľadnejšie riešenie. Z dostupných expandérov bol zvolený typ s označením PCA9506BS [7]. Pre komunikáciu sa využíva štandardné I²C rozhranie s pracovnou frekvenciou 100 kHz. K dispozícii je 40 užívateľsky konfigurovateľných vývodov. Nominálna hodnota napájacieho napätia je 3,3 V. Napájacie napätie je privedené na všetky vývody s označením VDD. Vývody s označením VSS sú pripojené na nulový potenciál GND. Vývod RESET slúži na externé resetovanie obvodu, ktoré ovláda MCU. Vývody SCL a SDA sú komunikačné signály pre I²C rozhranie. Potrebné pull-up rezistory sú umiestnené pri MCU a majú hodnotu 2k Ω , ktorá bola uvedená v katalógovom liste. Vývod OE slúži na prepnutie užívateľských výstupov do 3-stavového režimu, nakoľko táto funkcia nebude využitá bol tento vývod pripojený na GND.

Vývody s označením IO0-0 až IO0-7 boli nakonfigurované ako výstupné a ovládajú prepínanie relé na výstupoch. Vývody s označením IO1-0 až IO1-7 boli nakonfigurované ako výstupné a ovládajú 8 relé v prvom kanály relátkového attenuátora. Vývody s označením IO2-0 až IO2-7 boli nakonfigurované ako výstupné a ovládajú prepínanie relé na vstupoch. Vývody s označením IO3-0 až IO3-7 boli nakonfigurované ako výstupné a ovládajú 8 relé v druhom kanály relátkového attenuátora. Vývod s označením IO4-0 bol nakonfigurovaný ako výstupný a ovláda zapnutie detekcie pripojených slúchadiel. Vývody s označením IO4-1 a IO4-2 neboli nakonfigurované,

nakoľko funkcia externého zapnutia/vypnutia iného zariadenia a zapnutie/vypnutie externým zariadením, slúži na experimentálne účely a nebude implementované do obslužného programu MCU. Vývody IO4-3 až IO4-6 boli nakonfigurované ako vstupné a sú pripojené ku výstupom obvodu detekcie pripojených slúchadiel. Zapojenie I/O expandéra je uvedené na obrázku 2.10.



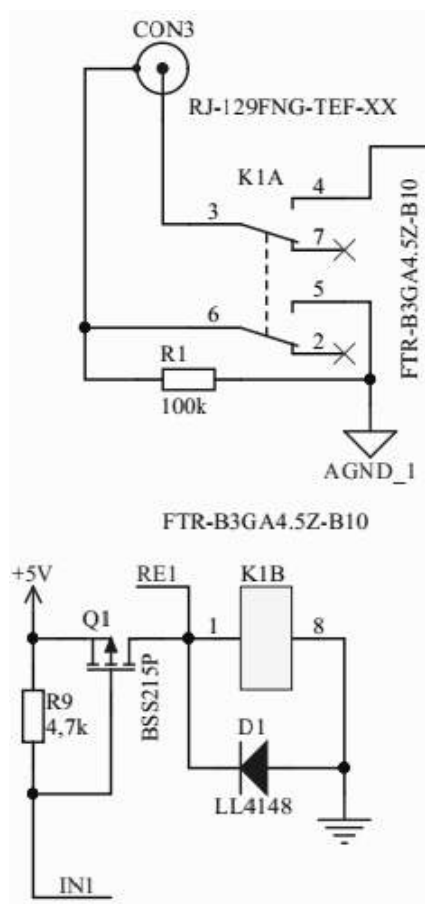
Obr. 2.10: Schéma zapojenia I²C expandéra

2.6 Vstupy

Na prepínanie vstupov boli zvolené signálové relé s dvomi prepínacími kontaktami. Vstupný signál je privedený na jeden prepínací kontakt a signálová zem je privedená na druhý prepínací kontakt. Uvedený systém prepínania vstupov umožňuje galvanické oddelenie signálových zemí pri neaktívnych vstupoch. Podľa požiadavky pre

potlačenie prechodového javu vznikajúceho pri pripojovaní a odpojovaní signálových zemí je možné ponechať tieto zeme neaktívnych vstupov prepojené cez rezistor s hodnotou radovo stoviek $k\Omega$. Pri vypnutom relé je signálový vstup neaktívny a kontakty relé sú rozpojené. Pri zapnutom relé je signálový vstup aktívny a kontakty relé relé prepoja vstupný signál a signálovú zem.

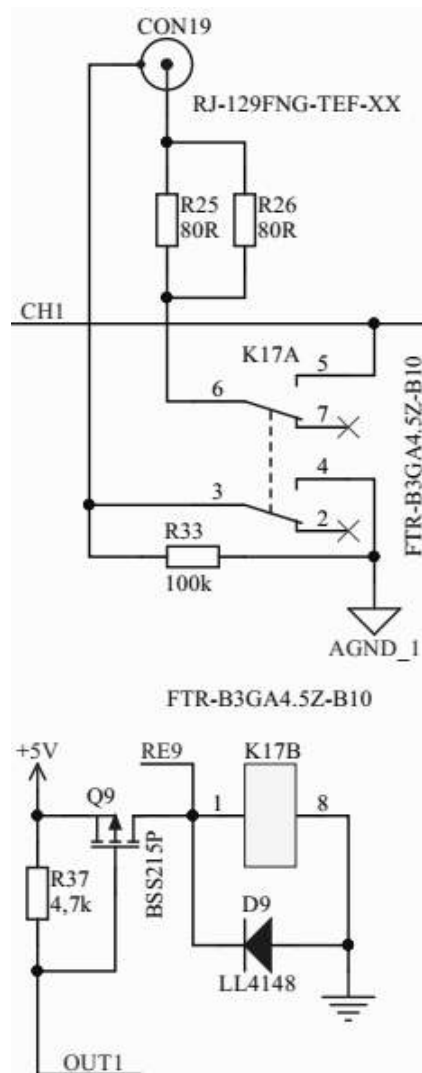
Zariadenie obsahuje osem voliteľných stereo vstupov, teda časť prepínania vstupov obsahuje celkovo šestnásť signálových relé. Prepínanie relé medzi jednotlivými vstupmi bude sekvenčné. Pre tento účel boli zvolené miniatúrne relé v SMD prevedení od firmy Fujitsu/Takamisawa s označením FTR-B3GA4.5Z [8]. Cievka relé má nominálne pracovné napätie $+4,5\text{ V}$. Spínanie cievky relé je realizované pomocou mosfetu Q1 typu P s označením BSS215P, ktorý je zapojený ako high-side spínač. Pull-up rezistor R9 má hodnotu $4,7k\Omega$. Dióda D1 chráni mosfet Q1 proti prepätiu, ktoré vzniká počas vypínania cievky relé. Reverzný demagnetizačný prúd teda pretečie cez túto ochrannú diódu. Zapojenie prepínania vstupov je uvedené na obrázku 2.11.



Obr. 2.11: Schéma zapojenia prepínania vstupov

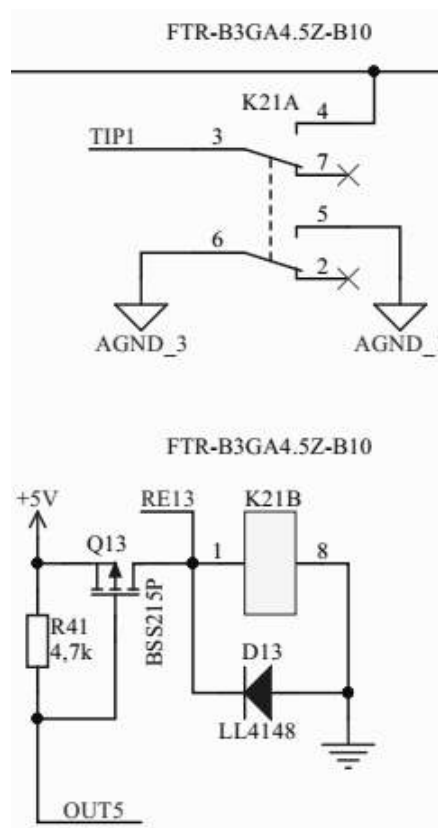
2.7 Výstupy

Na prepínanie výstupov boli použité rovnaké relé ako na prepínanie vstupov. Výstupný signál je privedený na jeden prepínací kontakt a signálová zem je privedená na druhý prepínací kontakt. Uvedený systém prepínania výstupov umožňuje opätovne galvanické oddelenie signálových zemí pri neaktívnych výstupoch. Podľa požiadavky pre potlačenie prechodového javu vznikajúceho pri pripojovaní a odpojovaní signálových zemí je možné ponechať tieto zeme neaktívnych výstupov prepojené cez rezistor s hodnotou radovo stoviek k Ω . Pri vypnutom relé je signálový výstup neaktívny a kontakty relé sú rozpojené. Pri zapnutom relé je signálový výstup aktívny a kontakty relé prepoja výstupný signál a signálovú zem. Prepínanie signálových výstupov obsahuje navyše odpory R25 a R26 s výslednou hodnotou 41 Ω , ktoré slúžia na prispôbenie výstupného odporu zariadenia, ktorý je 50 Ω .



Obr. 2.12: Schéma zapojenia prepínania výstupov

Slúchadlové výstupy majú odlišné prepínanie signálových zemí, ktoré sa pri aktivovaní požadovaného výstupu prepoja do jedného bodu, a uvedené výstupné rezistory kvôli požiadavke na nízky výstupný odpor neobsahujú. Zariadenie obsahuje štyri voliteľné stereo výstupy a štyri voliteľné slúchadlové výstupy, teda časť prepínania výstupov obsahuje celkovo šesťnásť signálových relé. Prepínanie relé medzi jednotlivými výstupmi bude sekvenčné. Pre tento účel boli použité rovnaké signálové relé ako pri vstupoch, spínací mosfet a ochranná dioda sú taktiež identické. Zapojenie prepínania signálových výstupov je uvedené na obrázku 2.12 a prepínanie sluchátkových výstupov je uvedené na obrázku 2.13.



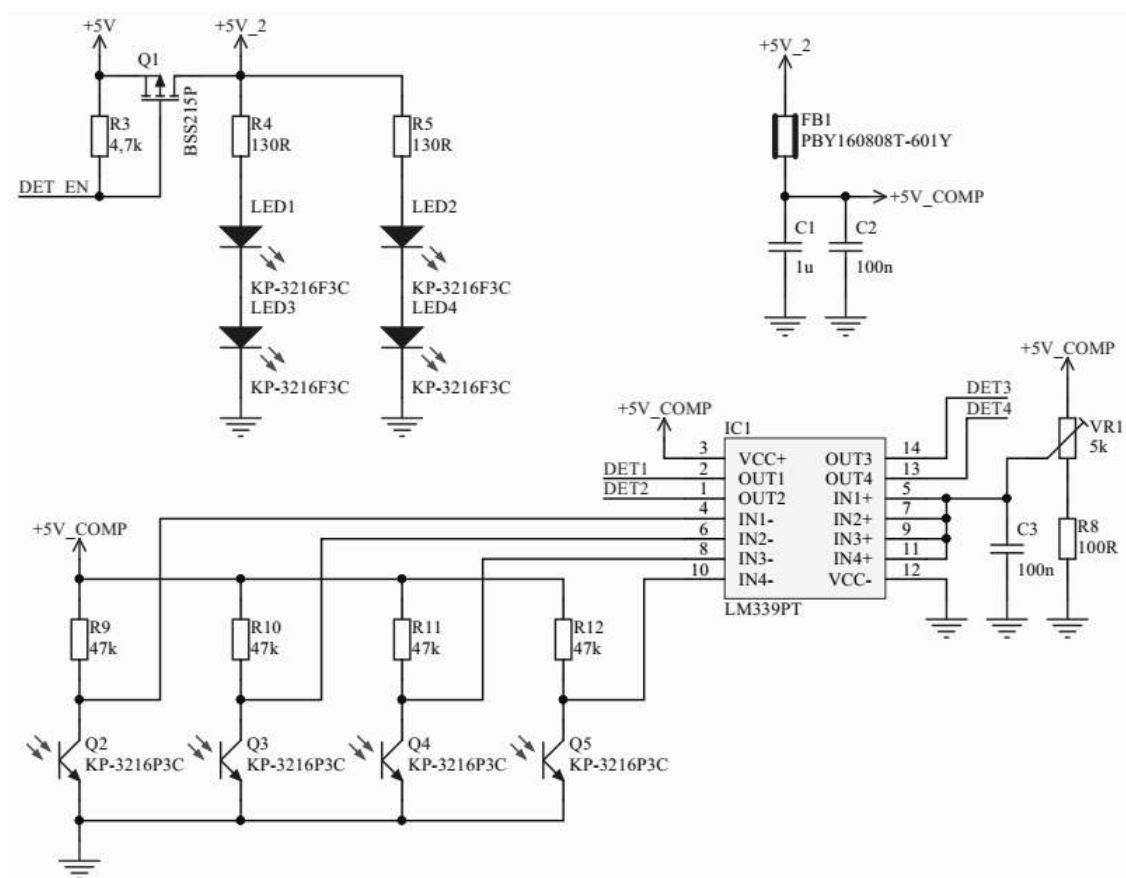
Obr. 2.13: Schéma zapojenia prepínania vstupov pre slúchadlá

2.8 Detekcia pripojených slúchadiel

V rámci rozšírenia funkcií zariadenia bola experimentálne navrhnutá bezkontaktná detekcia pripojených slúchadiel. Detekcia funguje na princípe optozávory, kde na jednej strane je IR vysielateľ a na druhej strany IR prijímač. Princíp metódy bol prispôbosený podmienkam a umiestnenia prijímača a vysielateľa bolo modifikované. Vysielacie IR LED sú umiestnené priamo pod konektorom Jack 6,3mm a prijímacie

IR fototranzistory sú umiestnené približne 7mm vedľa vysielačích IR LED, mimo osi konektoru. Každý slúchadlový konektor obsahuje samostatné snímanie. Princípom snímania je zmena odrazivosti plochy, ktorá ovplyvní svetelné pomery v oblasti medzi IR LED a snímacím IR fototranzistorom. Túto zmenu vyvolá práve lesklá kovová plocha pripojeného protikusu konektoru Jack 6,3mm. Následné vyhodnotenie tejto malej zmeny je realizované pomocou jednoduchého neinvertujúceho komparátora bez hysterézie.

Pre tento účel bol zvolený štvoritý komparátor s označením LM339PT [9]. IR LED majú označenie KP-3216F3C a IR fototranzistory jú označenie KP-3216P3C. Zmena na výstupe komparátora je pripojená na snímací vstup I/O expandéra, ktorý pri každej zmene log. stavu, zmení stav signálu prerušenia, ktoré ďalej spracuje MCU. Referenčné napätie pre komparátor je nastaviteľné odporovým trimrom VR1 s hodnotou 5 k Ω . Komparátor, vysielačie IR LED a snímacie IR fototranzistoy sú napájané napätím +5 V. Aktívny stav vysielačích IR LED je riadený signálom z I/O expandéra, spínanie je realizované mosfetom Q1 typu P s označením BSS215P s pull-up rezistorom R3, ktorý má hodnotu 4,7 k Ω . Zapojenie bezkontaktné detekcie pripojených slúchadiel je uvedené na obrázku 2.14.

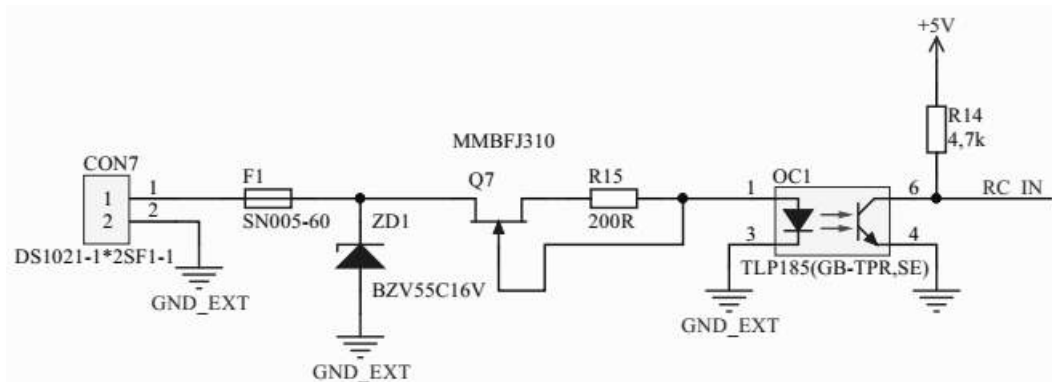


Obr. 2.14: Schéma zapojenia detekcie pripojených slúchadiel

2.9 Externé ovládanie zapnutia/vypnutia

V rámci ďalšieho rozšírenia funkcií zariadenia bolo experimentálne navrhnuté externé zapnutie/vypnutie zariadenia pomocou vstupného riadiaceho signálu a ďalej zapnutie/vypnutie ďalšieho zariadenia pomocou výstupného riadiaceho signálu.

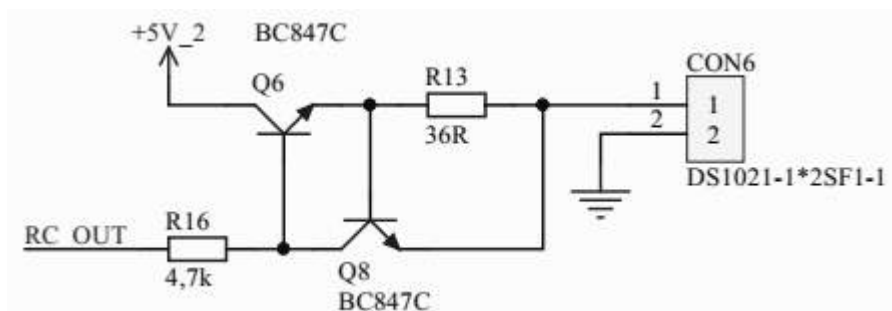
Prvé zapojenie slúži pre externé riadenie zapnutia/vypnutia zariadenia. Na riadenie môže byť použitý externý riadiaci signál s úrovňou 0 až 15 V. Úroveň vstupného napätia kedy dôjde na výstupe ku zmene log. stavu sú približne 2 V. Maximálna úroveň vstupného napätia je obmedzená 16 V zenerovou diódou ZD1. Zenerova dióda a vratná poistka F1 na vstupe chránia vstupnú časť pri prepätí, prepólovaní alebo inom nežiadúcom stave. JFET Q7 typu N v kombinácii s rezistorom R15 tvoria zdroj konštantného prúdu, ktorý je zapojený v sérii s LED v optočlene. Optočlen OC1 zabezpečuje prispôsobenie napätových úrovní a galvanické oddelenie medzi vstupom a výstupom. Na výstupe je tranzistor typu open-colector, ktorý sa nachádza v optočlene a výstupný signál je pripojený na pull-up rezistor R14 s hodnotou 4,7 k Ω . Výstupný signál je pripojený na snímací vstup I/O expandéra, ktorý pri zmene log. stavu, zmení stav signálu prerušenia, ktoré ďalej spracuje MCU. Zapojenie bolo prevzaté z mojej bakalárskej práce [10] a následne bolo prispôbené na konkrétne požiadavky. Zapojenie externého riadenia zapnutia/vypnutia zariadenia je uvedené na obrázku 2.15.



Obr. 2.15: Schéma zapojenia externého ovládania

Druhé uvedené zapojenie slúži pre riadenie zapnutia/vypnutia ďalšieho zariadenia. Obvod sa skladá z dvoch rezistorov R13 a R16 a dvoch bipolárnych tranzistorov Q6 a Q8 typu NPN, ktoré tvoria jednoduchý zdroj konštantného prúdu. Výstupný prúd tohoto obvodu je približne 20 mA a požadovaný prúd sa nastavuje hodnotou rezistoru R13, ktorá je 36 k Ω . Použité tranzistory majú označenie BC847C. Vstupný rezistor R16 má hodnotu 4,7 k Ω . Protiskratová ochrana na výstupe nie je potrebná nakoľko maximálny prúd v prípade skratu neprekročí zvolený výstupný

prúd. Zapojenie riadenie zapnutia/vypnutia ďalšieho zariadenia je uvedené na obrázku 2.16.



Obr. 2.16: Schéma zapojenia externého ovládania

Vyššie uvedené zapojenia externého riadenia zapnutia/vypnutia slúžia na experimentálne účely s rozšírením funkcií zariadenia plánovanými do budúcnosti a momentálne nebudú implementované do obslužného programu MCU.

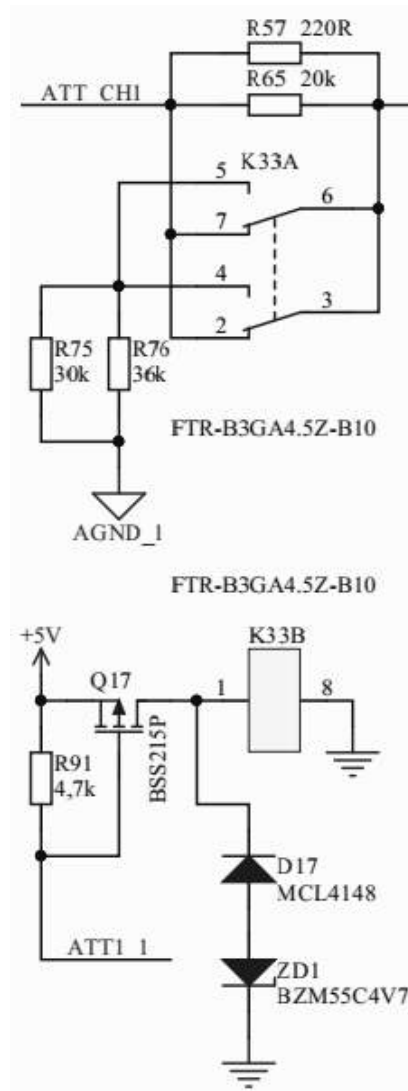
2.10 Relátkový attenuátor

Pre reguláciu úrovne vstupného signálu bol navrhnutý relátkový attenuátor. Základom relátkového attenuátora sú útlmové články typu L s rezistormi a prepínacími kontaktami relé. Základné parametre navrhnutého attenuátora sú nasledovné,

- konštantný vstupný odpor o hodnote $2\text{ k}\Omega$,
- nastaviteľný útlm v rozsahu -95 až 0 dB ,
- minimálny krok regulácie 1 dB ,
- 7 článkov pre reguláciu vstupného signálu,
- 1 článok na výstupe pre funkciu Mute.

Attenuátor obsahuje celkovo 8 článkov, ktoré sú zapojené sériovo. Prvých 7 článkov slúži na reguláciu útlmu a posledný článok slúži pre funkciu Mute. Hodnoty jednotlivých rezistorov pre vopred stanovené parametre attenuátora boli vypočítané podľa webovej aplikácie uvedenej v odkaze [11]. Pre dosiahnutie čo najpresnejších požadovaných hodnôt útlmu sú v jednotlivých článkoch použité dva paralelne zapojené rezistory. Po tejto úprave bolo možné rezistory zo štandardnej rady E24 a zoptimalizovať tak výsledné hodnoty rezistorov pre dosiahnutie čo najpresnejšej hodnoty útlmu. Pre výpočet požadovanej hodnoty z dvoch paralelne zapojených rezistorov z rady E24, bola použitá webová kalkulačka, ktorá je uvedená v odkaze [12]. Na základe požiadaviek bolo navrhnutých a vypočítaných sedem článkov pre reguláciu úrovne vstupného signálu a jeden článok pre funkciu Mute. Prvý článok má útlm -1 dB , druhý článok má útlm -2 dB , tretí článok má útlm -4 dB , štvrtý článok má

útlm -8 dB, piaty článok má útlm -16 dB, šiesty článok má útlm -32 dB, siedmy článok má útlm -32 dB a posledný článok pre funkciu Mute má útlm približne -128 dB. Pri vypnutom relé sú odpory v článku vyskratované a vyradené a prenos je 0 dB, pri zapnutom relé sa do signálovej cesty zaradí definovaný útlm. Na riadenie relé bolo použité binárne kódovanie s bitovými váhami 32-32-16-8-4-2-1. Týmto spôsobom je možné nastaviť akúkoľvek hodnotu v danom rozsahu -95 a 0 dB.



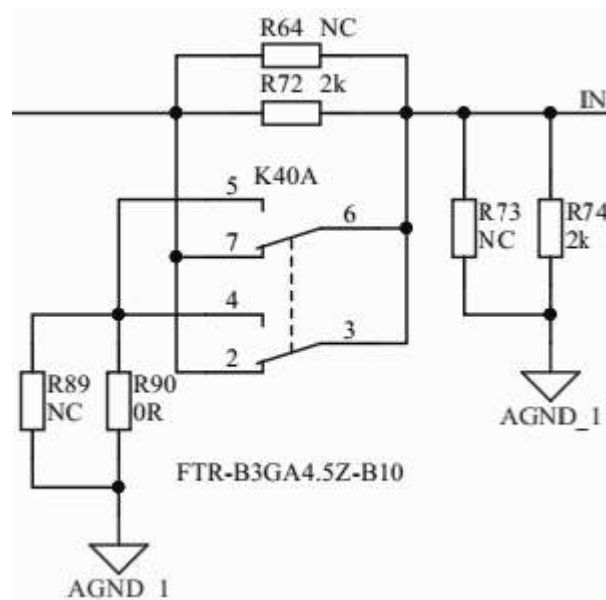
Obr. 2.17: Schéma zapojenia vstupného článku v relátkovom attenuátore

Relátkový attenuátor obsahuje celkovo šesťnásť signálových relé. Na prepínanie výstupov boli použité rovnaké signálové relé ako na prepínanie vstupov a výstupov [8]. Spínanie cievky relé je realizované pomocou mosfetu Q17 typu P s označením BSS215P, ktorý je zapojený ako high-side spínač. Pull-up rezistor R91 má hodnotu 4,7k Ω . Obvod demagnetizácie cievky pri vypínaní relé bolo použité upraviť tak, aby nedochádzalo k časovému oneskoreniu prepnutia kontaktov pri vypnutí relé.

Dióda D17 a zenerova dióda ZD1 chránia mosfet Q1 proti prepätiu, ktoré vzniká počas vypínania cievky relé. Reverzný demagnetizačný prúd teda pretečie cez tieto ochranné diody. Vyšší úbytok napätia na cievke vyvolaný zenerovou diódou zkracuje celkový čas demagnetizácie cievky. Záverné napätie použitej zenerovej diódy je 4,7 V. Zapojenie prvého článku na vstupe relátkového attenuátora je uvedené na obrázku 2.17.

Zapojenie jednotlivých článkov je identické, rozdielne sú iba hodnoty rezistorov, ktorými je definovaný požadovaný útlm. Na výstupe relátkového attenuátora, teda za posledným článkom je zaradený ešte terminačný rezistor R74 s hodnotou $2\text{ k}\Omega$, ktorý zaistuje konštantný vstupný odpor attenuátora. Na vstup attenuátora je pripojený signál z prepínača vstupov. Výstupný signál z attenuátora je pripojený na vstup analógového modulu predzosilňovača.

Zapojenie posledného článku funkcie Mute na výstupe relátkového attenuátora je uvedené na obrázku 2.18.



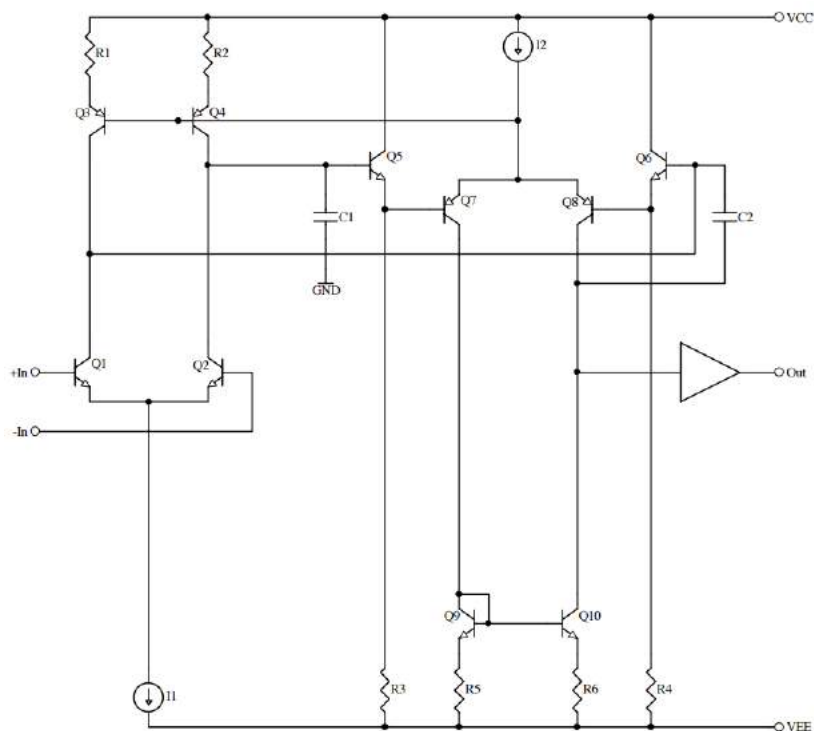
Obr. 2.18: Schéma zapojenia výstupného článku v relátkovom attenuátore

2.11 Analógová časť

Analógový modul predzosilňovača bol podľa zadania navrhnutý z diskretných súčiastok. Výhodou diskretného riešenia je vysoká miera optimalizácie jednotlivých obvodových parametrov celého zapojenia, ďalej možnosť vyššieho výstupného výkonu rádovo až v jednotkách W a vyššieho výstupného napätia, ktoré je potrebné pre korektné vybudenie vysoko-impedačných slúchadiel. Pre účely tejto práce bola

zvolená topológia zosilňovača s diferenčným rozkmitovým stupňom [13], ktorá bola následne modifikovaná pre dosiahnutie požadovaných parametrov analógového modulu predzosilňovača. Modelová schéma zvolenej topológie zosilňovača je uvedené na obrázku 2.19.

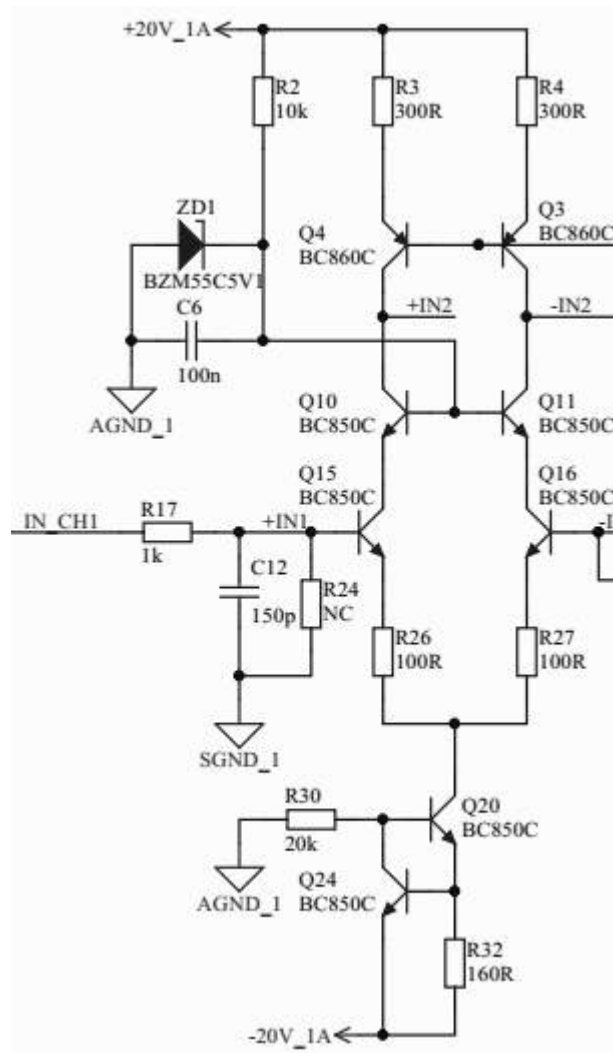
Jednotlivé obvodové parametre celého zapojenia boli navrhnuté a odladené v simulačnom programe LTspice od firmy Linear Technology [14]. Navrhnutá topológia sa skladá z troch základných častí a tými sú vstupný diferenčný stupeň, rozkmitový stupeň, výstupný koncový stupeň.



Obr. 2.19: Modelová schéma predzosilňovača s diferenčným rozkmitovým stupňom (prevzaté z [13])

Vstupný diferenčný stupeň tvorí diferenčný tranzistorový pár Q15 a Q16, ktorý je napájaný zo zdroja konštantného prúdu. Prúdový zdroj je tvorený tranzistormi Q20, Q24 a rezistormi R30, R32. Bol zvolený prúd 4 mA, ktorý je definovaný rezistorom R32 s hodnotou 160 Ω a napätím U_{BE} na tranzistore Q24. Diferenčný pár obsahuje degeneračné rezistory R26 a R27 s hodnotami 100 Ω , ktoré linearizujú prevodovú charakteristiku a znižujú harmonické skreslenie. Tranzistory Q10 a Q11 tvoria kaskódu, ktorá znižuje záverné napätie na diferenčných tranzistoroch, čo má vplyv na potlačenie Earlyho efektu. Kaskódové tranzistory sú napájané predpätím o hodnote +5 V, ktoré je definované zenerovou diódou ZD1. Tranzistory Q4 a Q3 tvoria prúdové zrkadlo, ktoré koriguje zhodnosť prúdov v oboch vetvách. Rezistory

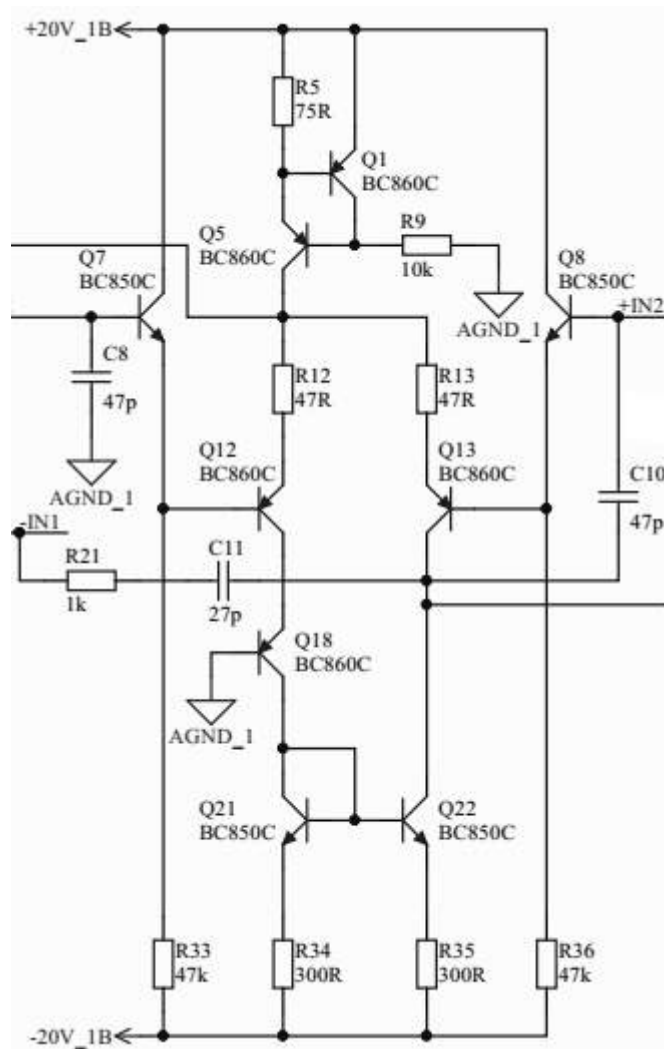
R3 a R4 s hodnotami $300\ \Omega$ znižujú šum tranzistorov v prúdovom zrkadle o približne 4 dB [13]. Na neinvertujúci vstup bol pridaný dolno-priepustný filter, ktorý slúži na potlačenie vlnového rušenia. Zosilnenie celého zosilňovača je definované spätnoväzobnými rezistormi R1 a R7 s hodnotami $1\ \text{k}\Omega$ a $110\ \Omega$, keďže sa jedná o neinvertujúce zapojenie je výsledná hodnota rovná 10, čo predstavuje zisk 20 dB. V navrhnutom zapojení boli použité nízkošumové bipolárne tranzistory s označením BC850C a BC860C. Vstupný diferenciálny stupeň je uvedený na obrázku 2.20.



Obr. 2.20: Schéma zapojenia diferenciálneho stupňa predzosilňovača

Rozkmitový stupeň tvoria diferenciálne tranzistorové páry Q7, Q8 a Q12, Q13. Tranzistory Q7 a Q8 sú zapojené ako emitorové sledovače. Bol zvolený kludový prúd 1 mA, ktorý je definovaný rezistormi R33 a R36 s hodnotami $47\ \text{k}\Omega$. Tranzistorový pár Q12 a Q13 je napájaný zo zdroja konštantného prúdu. Prúdový zdroj je tvorený tranzistormi Q1, Q5 a rezistormi R5, R9. Bol zvolený prúd 8 mA, ktorý je definovaný rezistorom R5 s hodnotou $75\ \Omega$ a napätím U_{BE} na tranzistore Q1. Tranzistorový pár

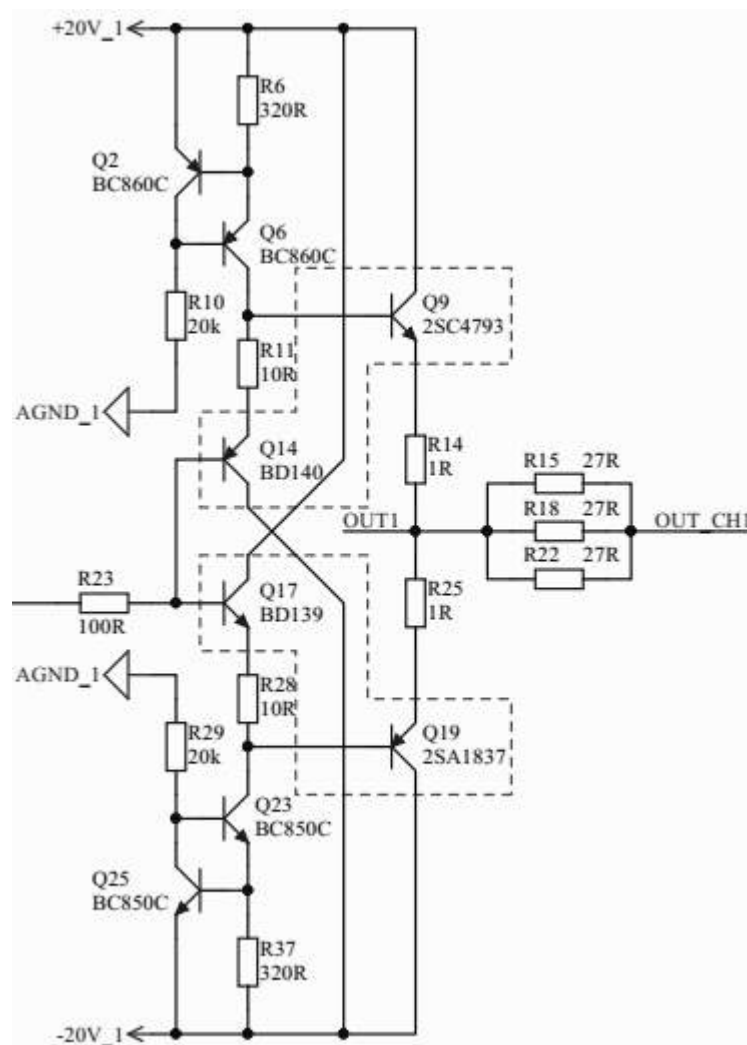
ďalej obsahuje degeneračné rezistory R12 a R13 s hodnotami 47Ω , ktoré lineari-
zujú prevodovú charakteristiku a znižujú harmonické skreslenie. Tranzistor Q18
tvorí kaskódu, ktorá vytvorila úbytok napätia a vyrovnala tak výkonové straty na
tranzistorovom páre. Tranzistory Q21 a Q22 tvoria prúdové zrkadlo, ktoré koriguje
zhodnosť prúdov v oboch vetvách. Rýchlosť prebehu celej topológie je definovaná
hlavne kondenzátorom C8 s hodnotou 47pF a maximálnym prúdom diferenčného
stupňa, a bude maximálne $\pm 85\text{ V}/\mu\text{s}$. Stabilita a fázová rezerva navrhutej topológie
zosilňovača je nastavená kondenzátorom C10 s hodnotou 47pF , ktorý určuje domi-
nantný pól na frekvenčnej charakteristike. Dodatočná kompenzácia je tvorená RC
členom zapojeným medzi výstup rozkmitového stupňa a invertujúci vstup diferenč-
ného stupňa. Pri návrhu boli preferované lokálne kompenzácie namiesto globálnej.
Rozkmitový stupeň je uvedený na obrázku 2.21.



Obr. 2.21: Schéma zapojenia rozkmitového stupňa predzosilňovača

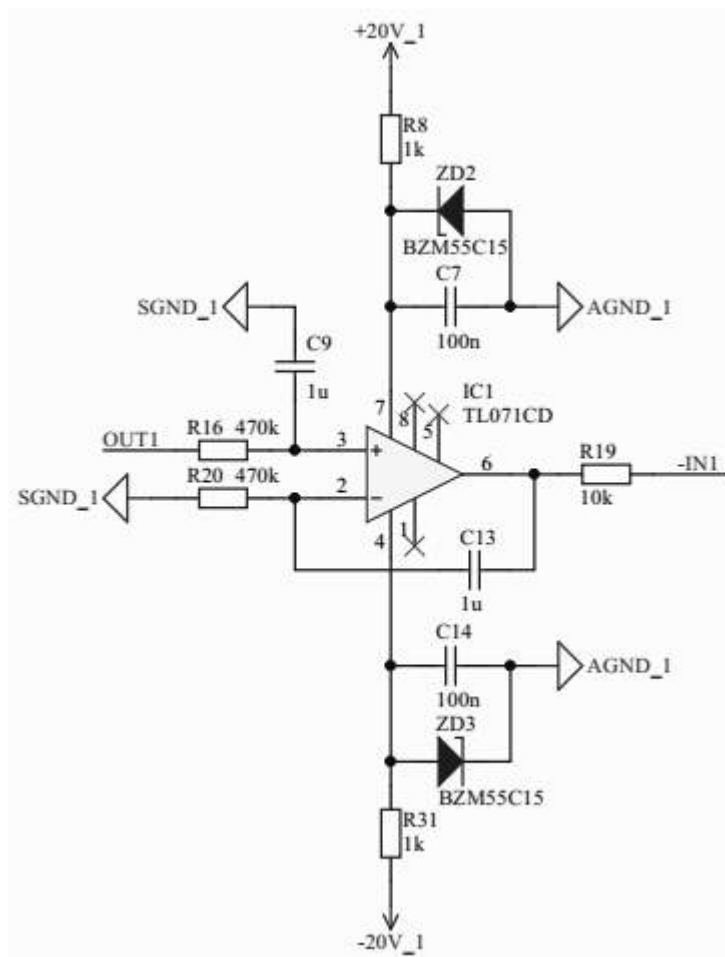
Výstupný koncový stupeň bol inšpirovaný zapojením takzvaného diamond buf-

fera [15], ktorý je tvorený tranzistormi Q14, Q17, Q9 a Q19. Budiace tranzistory majú označenia BD139-16 a BD140-16 a koncové tranzistory majú označenia 2SA1837 a 2SC4793. Emitorové rezistory R14 a R25 majú hodnoty $1\ \Omega$. Prúdové zdroje sú tvorené tranzistormi Q2, Q6, Q23 a Q25 a rezistormi R6, R10, R29 a R37. Bol zvolený prúd 2 mA , ktorý je definovaný rezistormi R6, R37 s hodnotami $320\ \Omega$ a napätím U_{BE} na tranzistoroch Q2, Q23. Koncový stupeň pracuje v triede AB a priechny kľudový prúd koncovými tranzistormi bol podľa doporučenia nastavený na 27 mA [16]. Pre lepšiu stabilitu kľudového prúdu bolo potrebné tepelne zviazať budiace tranzistory s koncovými tranzistormi. Uvedené tranzistory sú pripevnené na hliníkový chladič MP1 s označením SK609-50, ktorý zabezpečuje spoľahlivé chladenie aj pri vyššej teplote okolia. Rezistory R15, R18, R22 s celkovou hodnotou $9\ \Omega$, zabezpečujú stabilitu zosilňovača pri pripojení komplexnej záťaže s kapacitným charakterom. Výstupný koncový stupeň je uvedený na obrázku 2.22.



Obr. 2.22: Schéma zapojenia koncového stupňa predzosilňovača

Pre dosiahnutie čo najnižšieho offsetového napätia na výstupe navrhnutého zosilňovača, bolo do topológie pridané jednoduché zapojenie prezývané DC servo [16]. Jedná sa o zapojenie integrátora s operačným zosilňovačom, ktorého úlohou je korekcia offsetu na výstupe zosilňovača. Zapojenie obvodu korekcie offsetu je uvedené na obrázku 2.23.



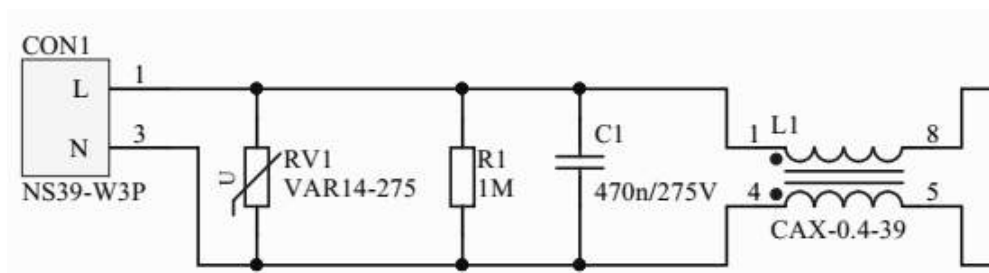
Obr. 2.23: Schéma zapojenia korekcie offsetu predzosilňovača

2.12 Napájacia časť

Napájacia časť zariadenia obsahuje tri osobitné napájacie zdroje. Jeden zdroj napája všetky digitálne obvody a má napätie +5 V, ďalšie dva zdroje napájajú analógový modul a majú napätie ± 20 V. Obidva analógové kanály majú osobitné napájacie zdroje.

2.12.1 EMI filter

Na sieťovom vstupe 230V AC sa nachádza EURO konektor s integrovanou sklenenou poistkou formátu 5×20 mm a kolískový vypínač. Prívod sieťového napätia pokračuje dvomi vodičmi na konektor CON1 s označením NS39-W3P, ktorý je umiestnený na DPS, kde sa nachádzajú všetky napájacie zdroje. Na ochranu proti prípadnému prepätiu bol použitý metal-oxidový varistor RV1 s označením VAR14-275. Pre potlačenie rušenia, ktoré je nasuperponované na striedavý harmonický signál, bol na vstupe použitý EMI filter typu CLC, ktorý sa skladá z fóliových kondenzátorov C1 a C2 s hodnotou 470 nF a prúdovo kompenzovanej tlmivky L1 s označením CAX-0.4-39. Rezistor R1 s hodnotou $1\text{ M}\Omega$ zabezpečuje vybitie kondenzátora na vstupe EMI filtra. Zapojenie sieťovej časti s EMI filtrom je uvedené na obrázku 2.24.

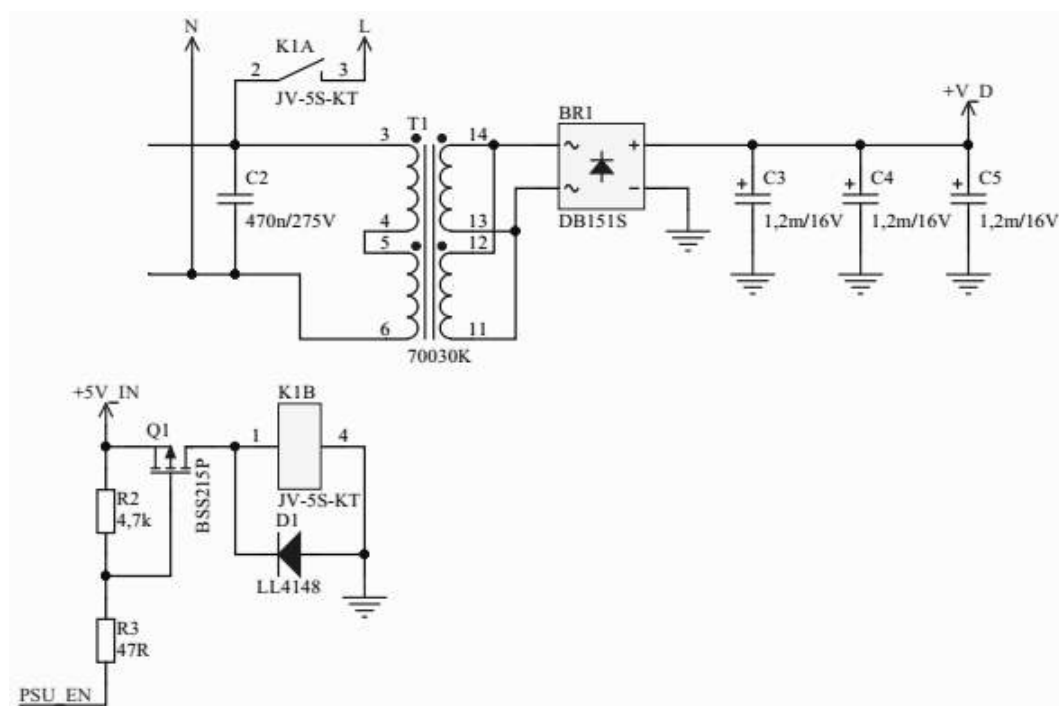


Obr. 2.24: Schéma zapojenia sieťovej časti a EMI filtra

2.12.2 Napájanie digitálnych častí

Pre napájanie digitálnych častí zariadenia bol s ohľadom na potlačenie vznikajúceho rušenia vo vnútri zariadenia použitý transformátor T1 s označením 70030K. Jedná sa o toroidný transformátor so zníženým rozptylom indukovaného magnetického poľa a vyhotovením pre montáž do DPS. Jednotlivé sekundárne vinutia boli kvôli požiadavke na vyšší prúdový odber zapojené paralelne. Usmernenie striedavého prúdu je cez diódový mostík BR1 s označením DB151S. Usmerný prúd je filtrovaný cez elektrolytické kondenzátory C3, C4 a C5 s celkovou kapacitou 3,6 mF. Relé K1 slúži na nezávislé zapnutie/vypnutie analógových napájacích zdrojov a ovláda ho MCU.

Spínanie cievky relé zabezpečuje mosfet Q1 s označením BSS215P. Pull-up rezistor R2 má hodnotu 4,7 k Ω a ochranný gatový rezistor R3 má hodnotu 47 Ω . Dióda D1 chráni mosfet Q1 proti prepätiu, ktoré vzniká počas demagnetizácie cievky pri vypínaní relé. Zapojenie napájacieho zdroja pre digitálnu časť je uvedené na obrázku 2.25.

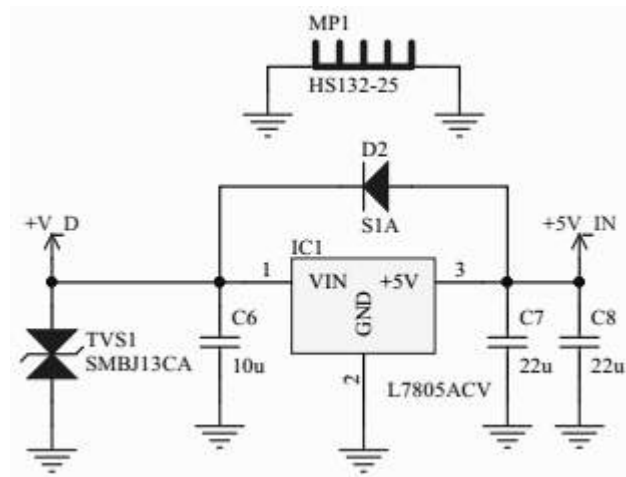


Obr. 2.25: Schéma zapojenia napájacieho zdroja pre digitálnu časť

Stabilizácia napätia napájacieho zdroja pre digitálnu časť je realizovaná lineárnym +5 V stabilizátorom IC1 s označením L7805ACV. Dióda D2 s označením S1A chráni stabilizátor proti reverznému prúdu. Použité blokovacie kondenzátory C6, C7 a C8 sú výhradne keramické s dielektrikom typu X7R alebo X5R. Chladič MP1 zabezpečuje odvod stratového tepla zo stabilizátora. Transil TVS1 s označením SMBJ13CA chráni stabilizátor proti prepätiu. Zapojenie lineárneho +5 V stabilizátora pre digitálnu časť je uvedené na obrázku 2.26.

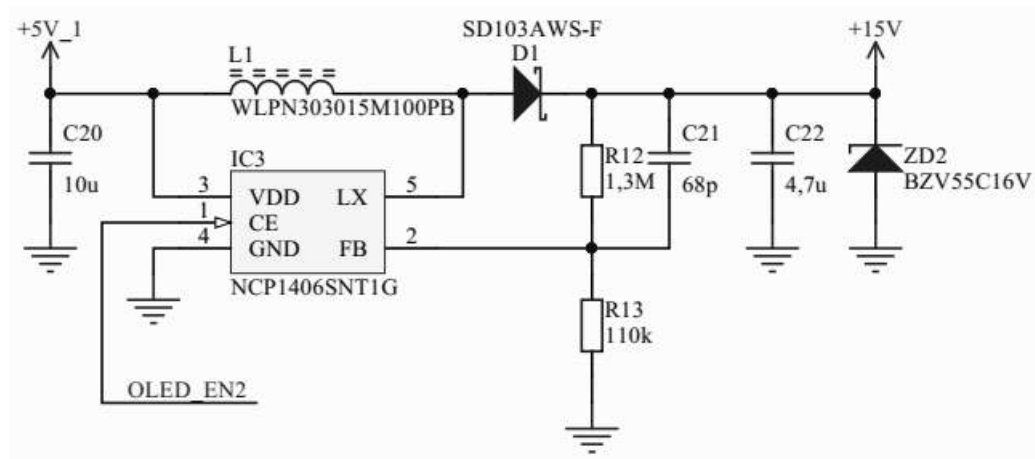
2.12.3 Zvyšujúci menič pre OLED

Pre napájanie OLED bol použitý zvyšujúci menič IC3 s označením NCP1406SNT1G. Všetky použité súčiastky boli zapojené podľa doporučenej schémy z katalógového listu [17]. Použité blokovacie kondenzátory C20 a C22 sú výhradne keramické s dielektrikom typu X7R alebo X5R. Kompenzačný kondenzátor C21 je keramický s dielektrikom typu NP0. D1 je rýchla schottkyho dióda s označením SD103AWS-F. L1 je tienená tlmivka s hodnotou 10 uH. 16 V zenerova dióda ZD2 na výstupe chráni



Obr. 2.26: Schéma zapojenia lineárneho +5 V stabilizátora

napájanie OLED proti prepätiu v prípade poruchy zvyšujúceho meniča. Požadované výstupné napätie je definované rezistormi R12 a R13 s hodnotami 1,3 M Ω a 110 k Ω . Zapnutie a vypnutie meniča riadi MCU. Zapojenie zvyšujúceho meniča pre OLED je uvedené na obrázku 2.27.

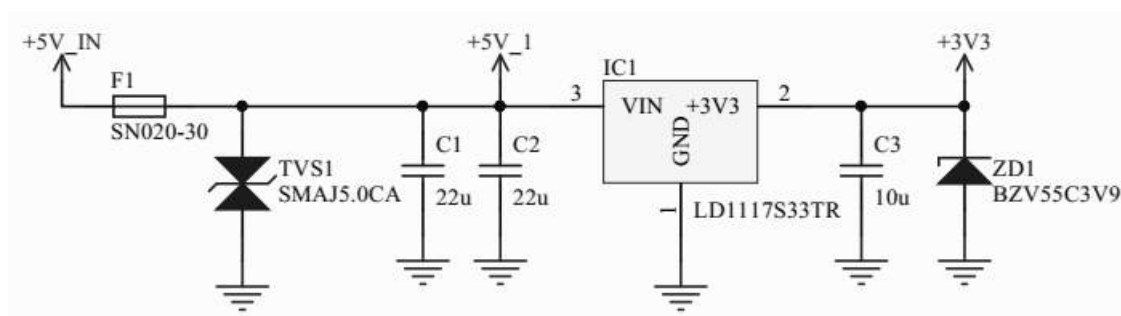


Obr. 2.27: Schéma zapojenia zvyšujúceho meniča pre OLED

2.12.4 Pomocné lineárne stabilizátory

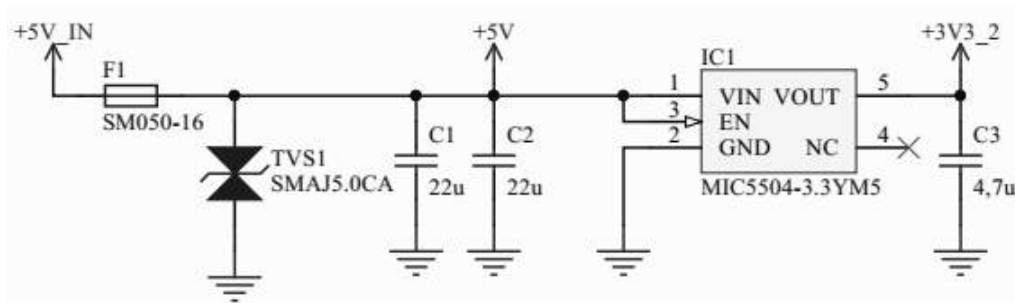
Pre napájanie MCU bol použitý lineárny +3,3 V stabilizátor s označením LD1117S33TR. Použité blokovacie kondenzátory C1, C2 a C3 sú výhradne keramické s dielektrikom typu X7R alebo X5R. 3,9 V zenerova dióda ZD1 na výstupe chráni napájanie MCU proti prepätiu v prípade poruchy stabilizátora, Transil TVS1 s označením

SMAJ5.0CA na vstupe chráni stabilizátor proti prepätiu. Vratná poistka F1 s označením SN020-30 slúži na ochranu pri prepätí, prepólovaní, nadprúde alebo skrate. Zapojenie pomocného lineárneho +3,3 V stabilizátora je uvedené na obrázku 2.28.



Obr. 2.28: Schéma zapojenia pomocného lineárneho +3,3 V stabilizátora

Pre napájanie I/O expandéra bol použitý lineárny +3,3 V stabilizátor s označením MIC5504-3.3YM5. Použité blokovacie kondenzátory C1, C2 a C3 sú výhradne keramické s dielektrikom typu X7R alebo X5R. Transil TVS1 s označením SMAJ5.0CA na vstupe chráni I/O expandér proti prepätiu. Vratná poistka F1 s označením SM050-16 slúži na ochranu pri prepätí, prepólovaní, nadprúde alebo skrate. Zapojenie pomocného lineárneho +3,3 V stabilizátora je uvedené na obrázku 2.29.

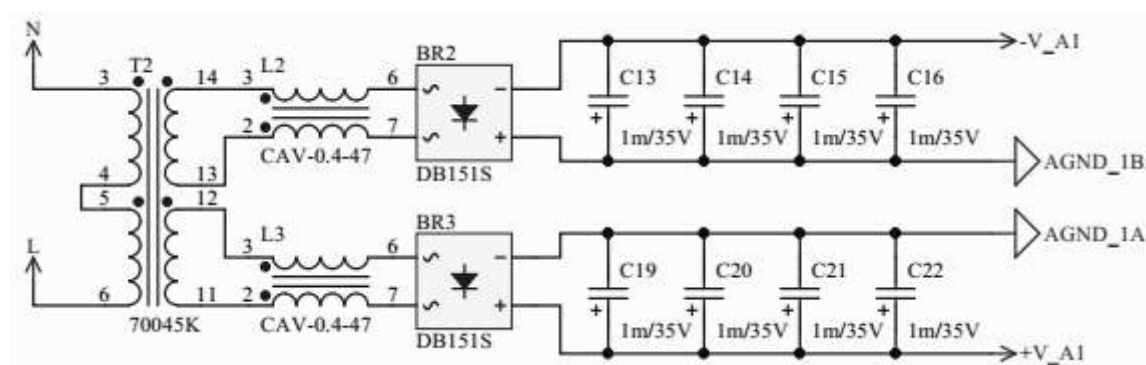


Obr. 2.29: Schéma zapojenia pomocného lineárneho +3,3 V stabilizátora

2.12.5 Napájanie analógových častí

Pre napájanie analógových častí zariadenia boli s ohľadom na potlačenie vznikajúceho rušenia vo vnútri zariadenia použité transformátory T2 a T3 s označením 70045K. Jedná sa o toroidné transformátory so zníženým rozptylom indukovaného magnetického poľa a vyhotovením pre montáž do DPS. Usmernenie striedavého prúdu je cez diódový mostík BR2 a BR3 s označením DB151S. Pre potlačenie prúdových špičiek pri spínaní usmerňovacích diód bola použitá prúdovo kompenzovaná

tlmivka L2 a L3 s označením CAV-0.4-47. Usmernený prúd je filtrovaný cez elektrolytické kondenzátory C13 až C16 a C19 až C22 s celkovou kapacitou 8 mF. Zapojenie napájacieho zdroja pre analógovú časť je uvedené na obrázku 2.30.



Obr. 2.30: Schéma zapojenia napájacieho zdroja pre analógovú časť

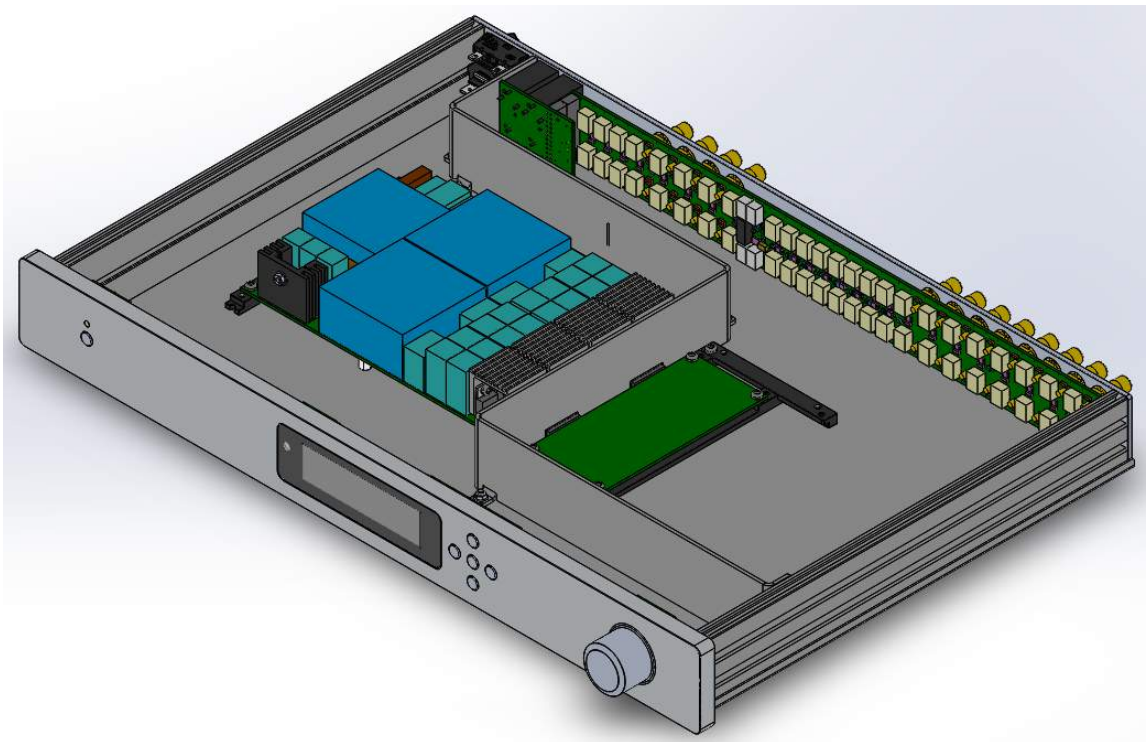
Regulátory pre analógové zdroje predzosilňovača boli inšpirované podľa zapojenia uvedeného v článku Walta Junga [18]. Jedná sa o diskkrétne riešenie sériových lineárnych regulátorov s nízkym šumom. Tieto regulátory boli následne modifikované pre dosiahnutie požadovaných parametrov analógových napájacích zdrojov. Jednotlivé obvodové parametre regulátorov boli navrhnuté a odladené v simulačnom programe LTspice od firmy Linear Technology [14]. Transil TVS2 s označením SMBJ33CA na vstupe chráni regulátor proti prepätiu. Lineárny stabilizátor IC2 s označením LM317T zabezpečuje predreguláciu pre samotný regulátor. Rezistormi R4 a R10 s hodnotami $1\text{k}\Omega$ je na predregulátore nastavený úbytok napätia 2,5 V. Súčiastky LED1, R5, R11 a Q3 tvoria zdroj konštantného prúdu, ktorý riadi regulačný tranzistor Q2. Regulátor využíva nízkošumový operačný zosilňovač IC3 s označením NE5534AD a napäťovú referenciu IC4 s označením TL431ACD pre presnú reguláciu napätia na výstupe. R6 a C18 tvoria dolnopriepustný filter, ktorý znižuje úroveň šumu za referenciou. D3 a D4 sú ochranné diódy na vstupoch použitého operačného zosilňovača. 6,8 V zenerova dióda ZD1 zabezpečuje korektné nabehnutie obvodu regulácie. Požadované výstupné napätie je nastavené rezistormi R8 a R12 s hodnotami $3,6\text{k}\Omega$ a 510Ω . Všetky použité blokovacie kondenzátory sú výhradne keramické s dielektrikom typu X7R alebo X5R. Uvedené zapojenie kladného a záporného regulátoru je principiálne aj funkčne identické.

Zapojenie sériového lineárneho regulátora pre +20 V a -20 V je uvedené na obrázkoch 2.31 a 2.32.



3 SKRINKA PREDZOSILŇOVAČA

Na základe vopred stanovených požiadaviek a výberu vhodnej prístrojovej skrinky boli následne v programe Solidworks navrhnuté všetky potrebné mechanické diely. Podľa dodaných dielov skrinky MODU boli reverzným inžinierstvom vytvorené presné modely jednotlivých dielov skrinky, s ktorými sa následne pracovalo pri mechanickom návrhu ďalších potrebných dielov. Na začiatku boli navrhnuté otvory a kapsy na prednom a zadnom paneli, potom otvory v spodnom kryte. Následne boli naimportované navrhnuté plošné spoje vo formáte IDF a boli umiestnené na požadované pozície. Vo vnútri krabice bola navrhnutá pohyblivá platforma pre uchytenie DPS s modulom predzosilňovača pre prípadnú výmenu za novší modul. OLED bol umiestnený na kovový držiak, ktorý sa potom celý upevní do vyfrézovanej kapsy na zadnej strane predného panelu. Pre prípad zlepšenia odstupu signálu od šumu bol navrhnutý aj tieniaci plech, ktorý úplne oddeľuje digitálnu a analógovú časť zariadenia. Na záver boli navrhnuté ovládacie prvky ako gombíky na tlačidlá, hmatník na rotačný enkodér a kryt z plexiskla pre ochranu OLED.



Obr. 3.1: Pohľad na mechanický návrh celého zariadenia v programe Solidworks

4 REALIZÁCIA PREDZOSILŇOVAČA

4.1 Návrh DPS

Pri návrhu DPS bolo potrebné dodržať všetky doporučená a poznámky pre správny návrh, ktoré boli uvedené v katalógových listoch a aplikačných poznámkach výrobcov použitých obvodov. Ďalším zdrojom informácií pri návrhu bola uvedená publikácia [19]. Počas návrhu boli aplikované metódy DFM, ktorých hlavnou úlohou bolo optimalizovanie celého návrhu za účelom zníženia výrobných nákladov, pri prototypovej výrobe zariadenia. Výsledkom je optimalizovaný návrh na 2V a 4V DPS. Návrh bol realizovaný v programe Altium Designer.

4.2 Výroba a osadenie DPS

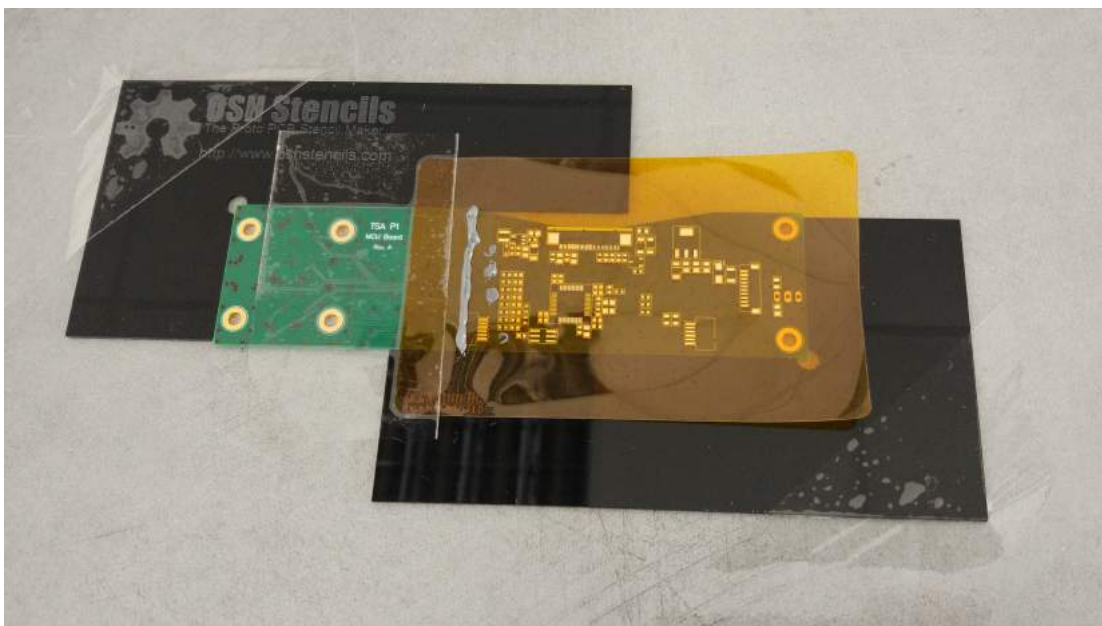
Prototypové 2V a 4V DPS boli vyrobené vo firme Gatema a.s., prostredníctvom cenovo výhodnej služby POOL servis. Následne boli vyrobené prototypové, laserom rezané, polyimidové šablóny s hrúbkou 80 a 120 μm . Nasledovný obrázok 4.1 ukazuje spôsob uchytenia šablóny a DPS pred nanosením spájkovacej pasty na vrchnú stranu.

Od firmy Shenmao Technology Inc. bola zvolená olovnatá spájkovacia pasta s označením SH63-004 a zložením Sn63Pb37. Po nanosení spájkovacej pasty boli prostredníctvom manuálneho súradnicového manipulátora osadené všetky SMD súčiastky. Po osadení súčiastok nasledovalo spájkovanie v kondenzovaných parách. Nanosenie spájkovacej pasty, osadenie na manipulátore a spájkovanie prebehlo vo vyhradenom laboratóriu na ústave elektroniky.

Osadenie zvyšných SMD súčiastok na spodnej strane a všetkých vývodových súčiastok, bolo realizované kontaktným spájkovaním prostredníctvom spájkovacej stanice. Na záver boli všetky osadené DPS dôkladne očistené od zvyškov tavidla a iných nečistôt pomocou izopropylalkoholu.

4.3 Oživenie a testovanie

Po očistení a vysušení osadených DPS nasledovalo oživenie a testovanie funkčnosti. Samotné oživenie prebiehalo tak, že bola najskôr vykonaná dôkladná optická inšpekcia a potom boli všetky kritické miesta premerané multimetrom na prípadné skraty alebo rozpojenia. Neboli zistené žiadne závažné chyby. Následne bolo z laboratórneho zdroja privedené napájacie napätie +5 V na všetky digitálne DPS a ± 20 V na všetky analógové DPS. Pomocou multimetra boli zmerané všetky pracovné napätia

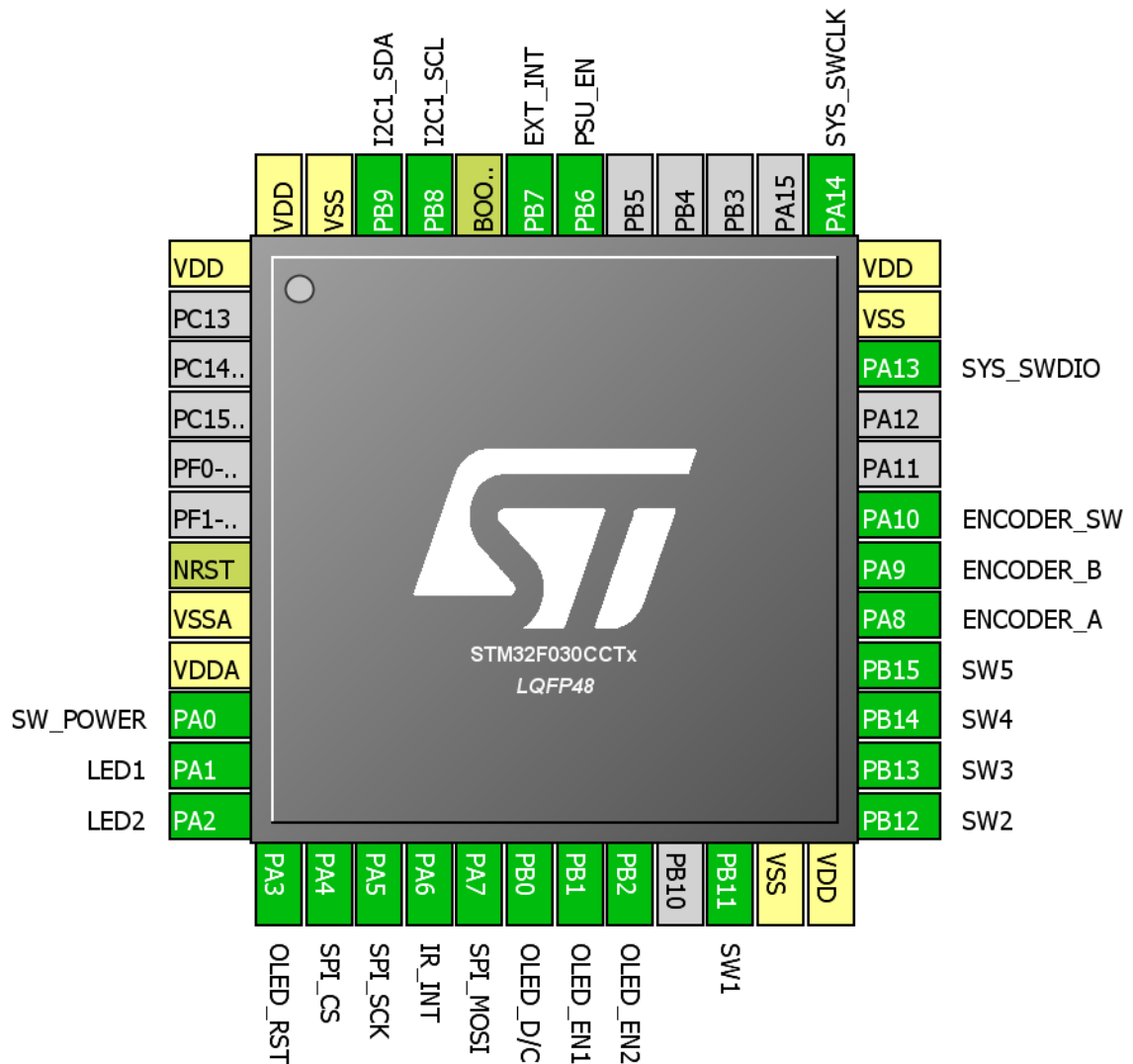


Obr. 4.1: Proces nanosenia spájkovacej pasty na DPS cez šablónu

v zapojení. Hodnota napätia na výstupe zvyšujúceho meniča bola 15,2V, na výstupe pomocného lineárneho stabilizátora bola 3,3V. Hodnoty napätí na výstupe analógových zdrojov boli 20,0V. Všetky namerané hodnoty pracovných napätí boli v tolerancii.

5 SOFTWARE PREDZOSILŇOVAČA

Obslužný kód zariadenia pre MCU bol vytvorený v programe IAR. Inicializácia jednotlivých pinov bola nastavená cez program CubeMX



Obr. 5.1: Ukážka nastavenia inicializácie vývodov MCU v programe CubeMX

ZÁVER

Cielom tejto práce bol návrh a realizácia audiopredzosilňovača s prepínaním vstupov. Po naštudovaní problematiky bola stanovená bloková schéma celého zariadenia. Na základe tejto blokovej schémy boli navrhnuté jednotlivé časti. Práca následne detailne popisuje návrh elektroniky zariadenia na úrovni samotných súčiastok.

Pri výrobe boli použité iba kvalitné súčiastky, ktoré splňovali minimálny stanovený rozsah prevádzkových teplôt. Pre overenie parametrov navrhovaných elektronických obvodov bol počas návrhu využívaný simulačný program LTspice, a taktiež boli aplikované značné vedomosti z oblasti simulácií a návrhu elektronických obvodov. Pri návrhu DPS boli zohľadnené pravidlá EMC a bola urobená optimalizácia výrobných nákladov podľa metód DFM. Výsledkom práce sú prepracované 2V a 4V DPS, ktoré sú vhodne optimalizované pre prípadnú hromadnú výrobu.

Navrhnuté zariadenie ponúka užívateľovi osem vstupov a osem výstupov. Užívateľské rozhranie bolo realizované prostredníctvom OLED, tlačidiel a rotačného enkodéru. Výhodou zariadenia sú kompaktné rozmery, štýlový nízkoprofilový dizajn a užívateľsky prívetivé rozhranie.

Z časových dôvodov nebolo možné meraniami overiť parametre analógového modulu zariadenia, nakoľko sa jedná o pomerne komplexnú prácu, ktorá prezentuje elektrický, mechanický a softvérový návrh. Výrobné náklady prototypu zariadenia boli vypočítané na cenu približne 14000 Kč. Pokiaľ by sa zariadenie osvedčilo stabilitou parametrov pri dlhodobej prevádzke, mohlo by mať určitý komerčný potenciál.

LITERATÚRA

- [1] modushop.cz. *1NSL01280B - 1U rack krabice s lištou, 280mm, 10mm - panel stříbrný* [online]. [cit. 2017-01-14]. Dostupné z: <http://www.modushop.cz/1NSL01280B-1u-rack-krabice-s-listou-280mm-10mm-panel-stribrny.html>.
- [2] EastRising. *ER-OLED032-1 Series* [online]. [cit. 2017-01-16]. Dostupné z: http://www.buydisplay.com/download/manual/ER-OLED032-1_Series_Datasheet.pdf.
- [3] EastRising. *ER-OLED032-1Series Interfacing Document* [online]. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: http://www.buydisplay.com/download/interfacing/ER-OLED032-1_Interfacing.pdf.
- [4] Solomon Systech. *SSD1322 - 480 x 128, Dot Matrix High Power OLED/PLED Segment/Common Driver with Controller* [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <http://www.hpinfotech.ro/SSD1322.pdf>.
- [5] Bourns. *PEC12R - 12 mm Incremental Encoder* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/54/EC12R-777795.pdf>.
- [6] Vishay. *IR Receiver Modules for Remote Control Systems* [online]. [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/427/tsop322-542448.pdf>.
- [7] NXP. *PCA9505/06, 40-bit I2C-bus I/O port with RESET, OE and INT* [online]. [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: http://www.mouser.com/ds/2/302/PCA9505_9506-841720.pdf.
- [8] Fujitsu/Takamisawa. *FTR-B3 SERIES, ULTRA MINIATURE 2-POLES 2A (LOW PROFILE SIGNAL RELAY)* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: http://www.mouser.com/ds/2/302/PCA9505_9506-841720.pdf.
- [9] STMicroelectronics. *LM139, LM239, LM339 - Low-power quad voltage comparators* [online]. [cit. 2017-03-10]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/389/lm139-954926.pdf>.
- [10] STARČOK, T. *Univerzální komunikátor GSM: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky, 2014. 77 s. Vedúci práce bol doc. Ing. Josef Šandera, Ph.D.* [online]. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=88261.

- [11] eindhoven.net. *Logarithmic Attenuator Calculator* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.eindhoven.net/jos/attenuator-calculator/index.html>.
- [12] IN3OTD's web site. *Resistor calculator (series and parallel)* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.qsl.net/in3otd/parallr.html#>.
- [13] GRONER, Samuel. *Comments on Audio Power Amplifier by Design Handbook by Douglas Self* [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: http://www.nanovolt.ch/resources/power_amplifiers/pdf/audio_power_amp_design_comments.pdf.
- [14] Linear Technology. *LTspice* [online]. [cit. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice>.
- [15] WALT, Jung. *Op-Amp Audio, Realizing High Performance: Buffers (Part II)* [online]. [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: http://waltjung.org/PDFs/WTnT_Op_Amp_Audio_2.pdf.
- [16] CORDELL, Bob. *CORDELL, Bob. Designing audio power amplifiers. New York: McGraw-Hill, 2010. ISBN 007164024x.*
- [17] STMicroelectronics. *NCP1406, NCV1406 - 25 V/25 mA PFM Step-Up DC-DC Converter* [online]. [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.mouser.com/ds/2/308/NCP1406-D-81438.pdf>.
- [18] WALT, Jung. *Improved Positive/Negative Regulators* [online]. [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://waltjung.org/PDFs/Improved_PN_Regs.pdf.
- [19] ZÁHLAVA, V. *Metodika návrhu plošných spojů. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002.*

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

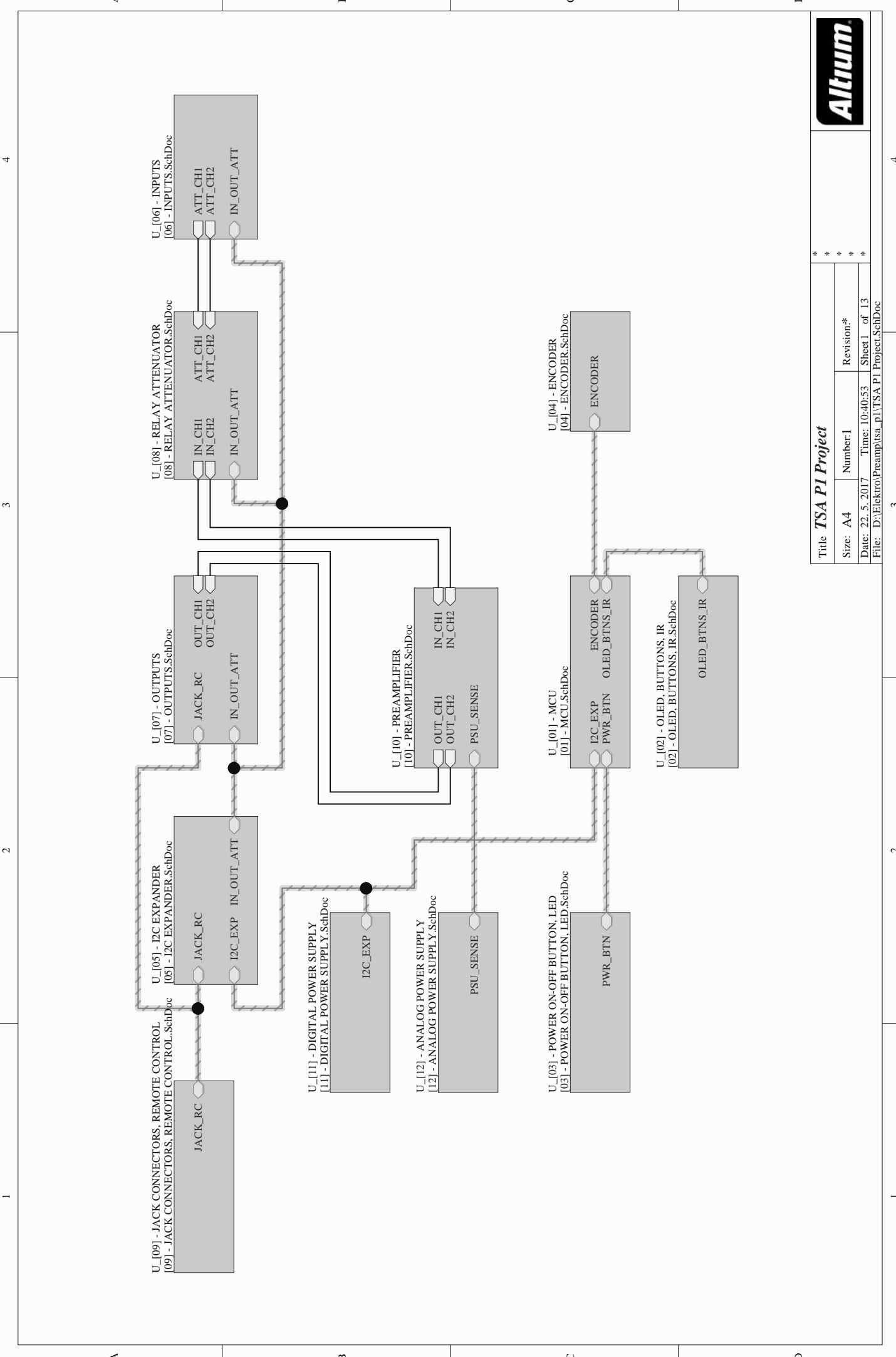
DPS Doska plošných spojov

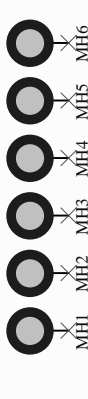
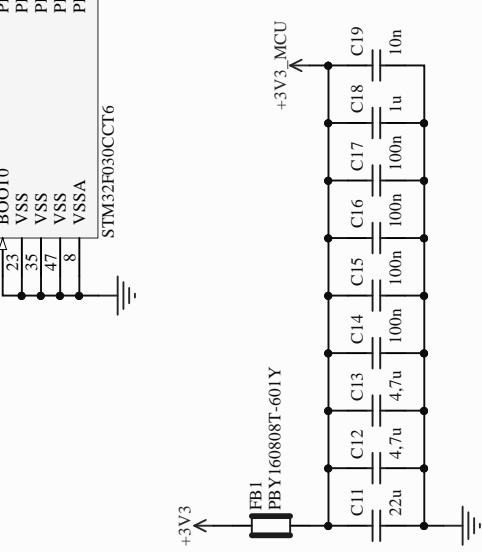
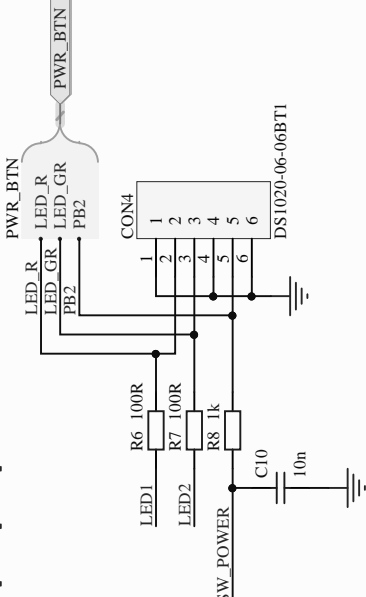
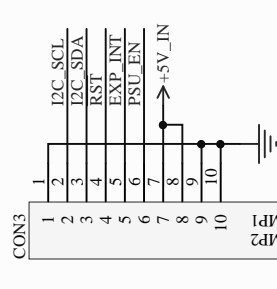
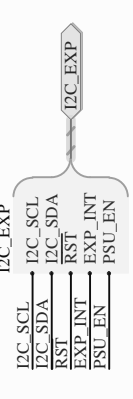
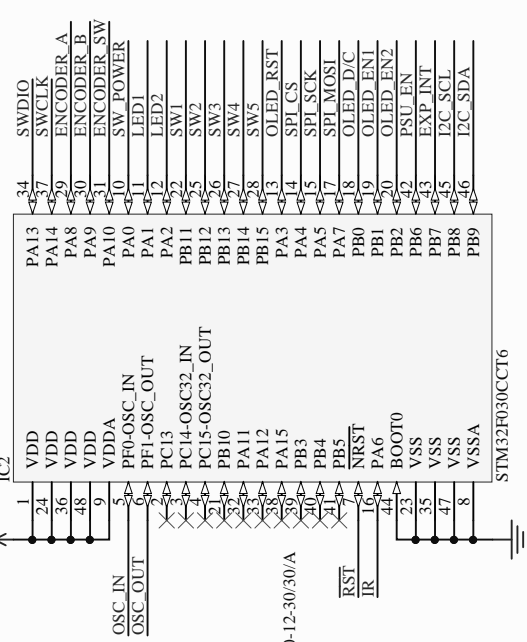
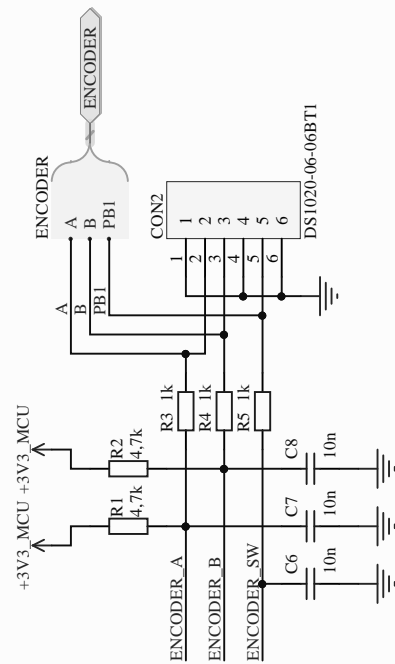
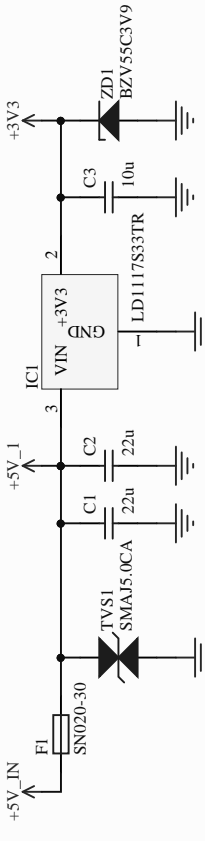
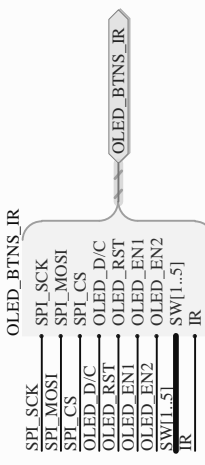
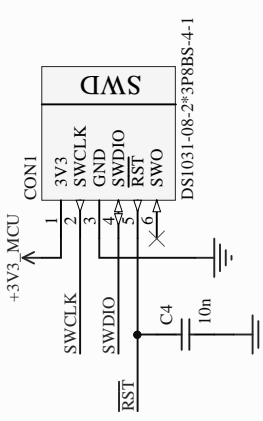
ZOZNAM PRÍLOH

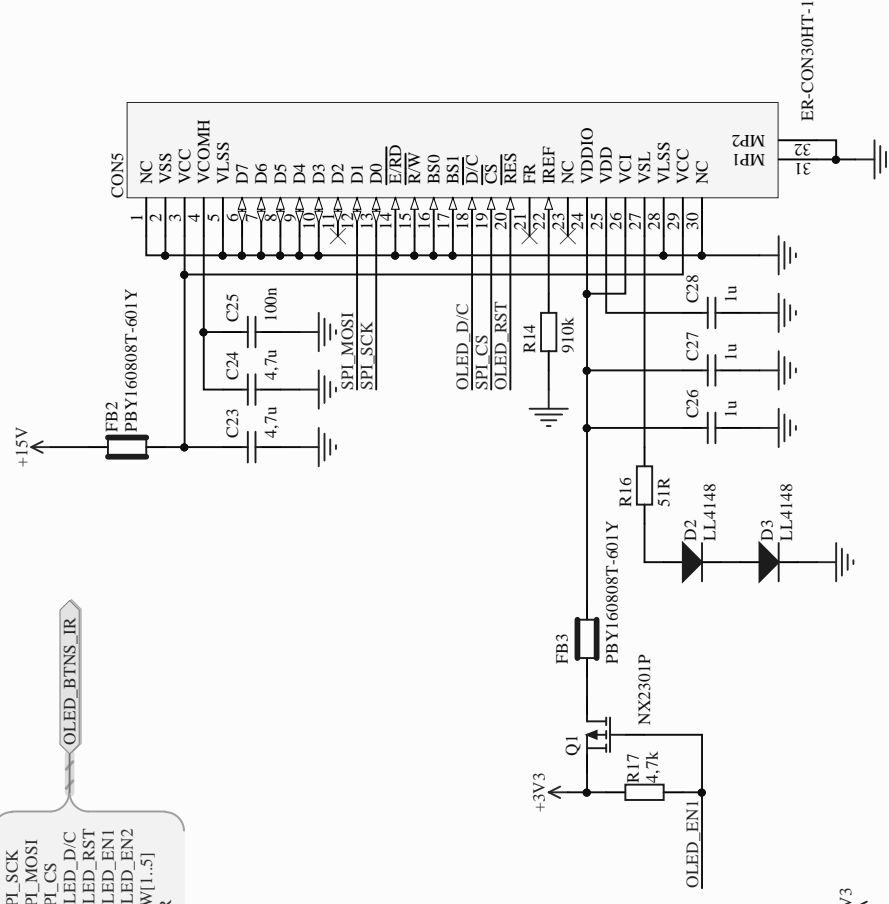
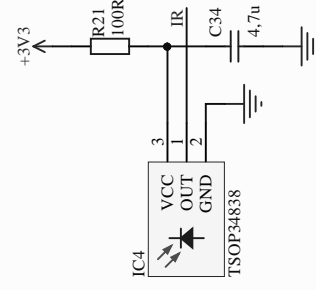
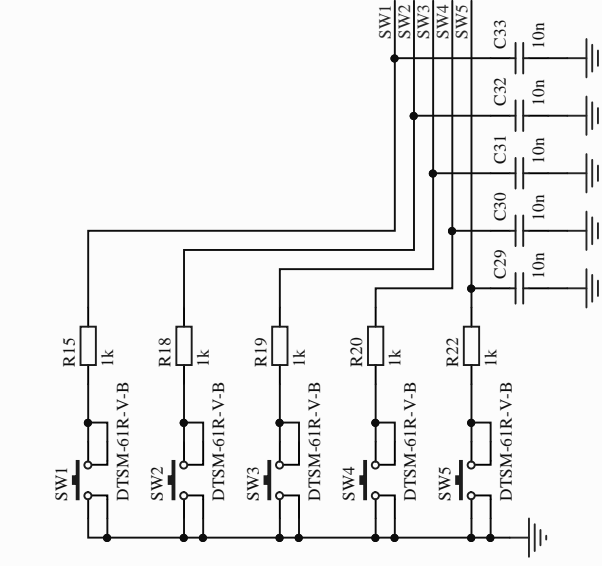
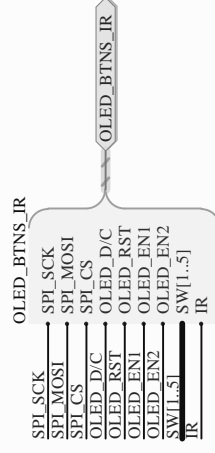
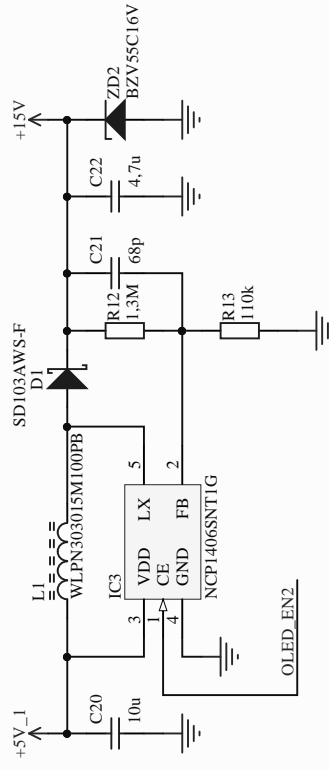
A	Výrobná dokumentácia	53
A.1	Schémy	53
A.2	DPS	67
A.3	Zoznamy súčiastok	97
A.4	Výkresy	106
B	Fotodokumentácia	118

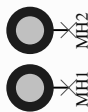
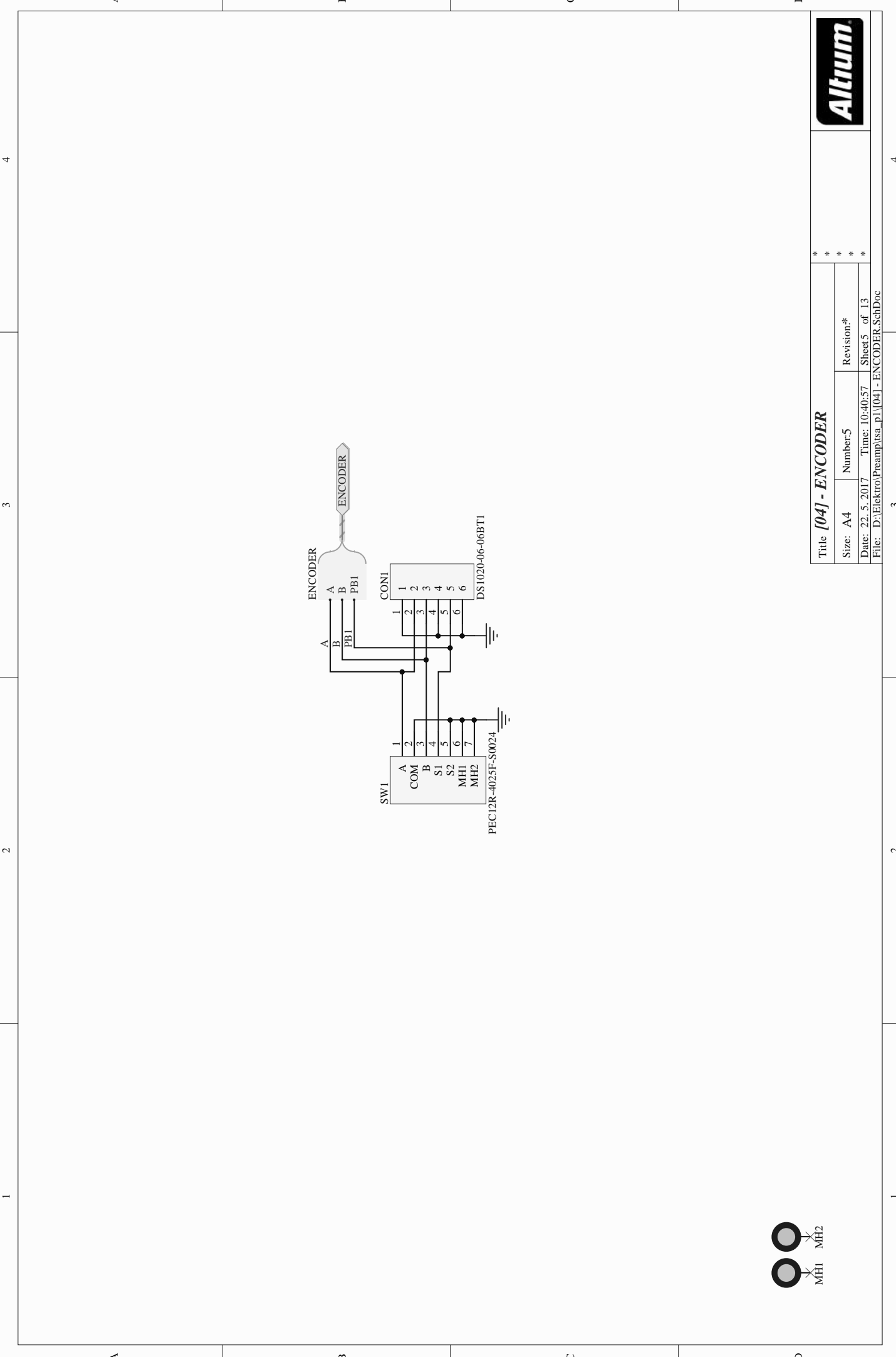
A VÝROBNÁ DOKUMENTÁCIA

A.1 Schémy



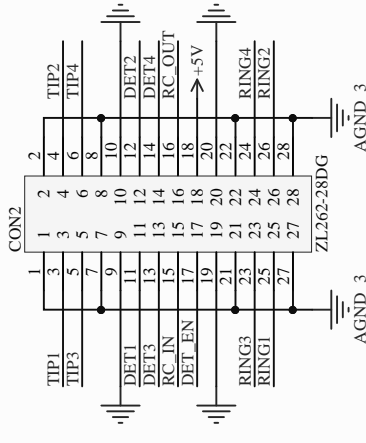
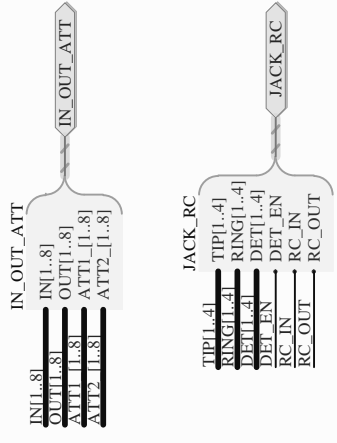
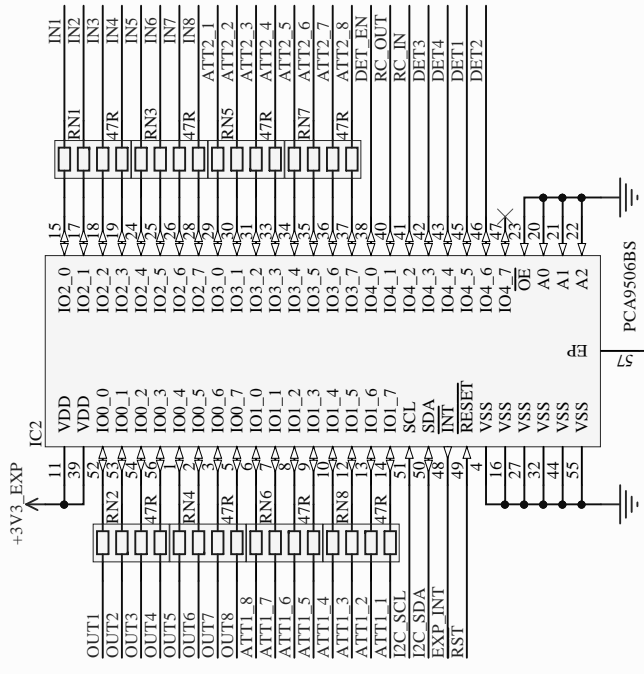
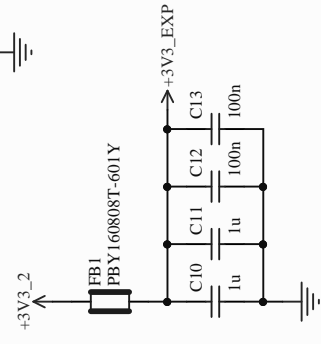
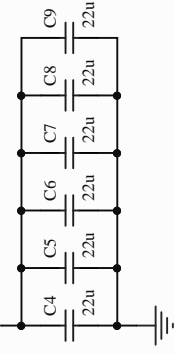
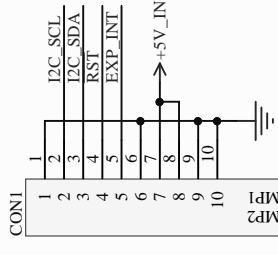
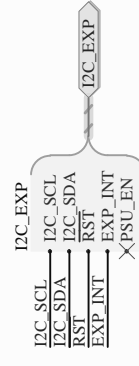
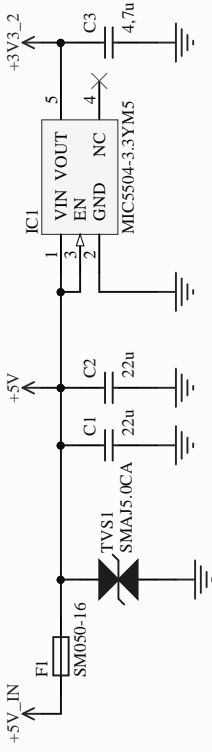






Title [04] - ENCODER			* * *	
Size: A4	Number:5	Revision:*	*	
Date: 22.5.2017	Time: 10:40:57	Sheet 5 of 13	*	
File: D:\Elektro\Preamp\tsa_p1\04] - ENCODER.SchDoc			*	

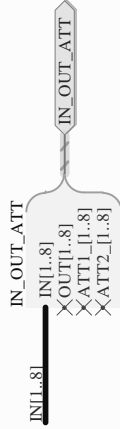
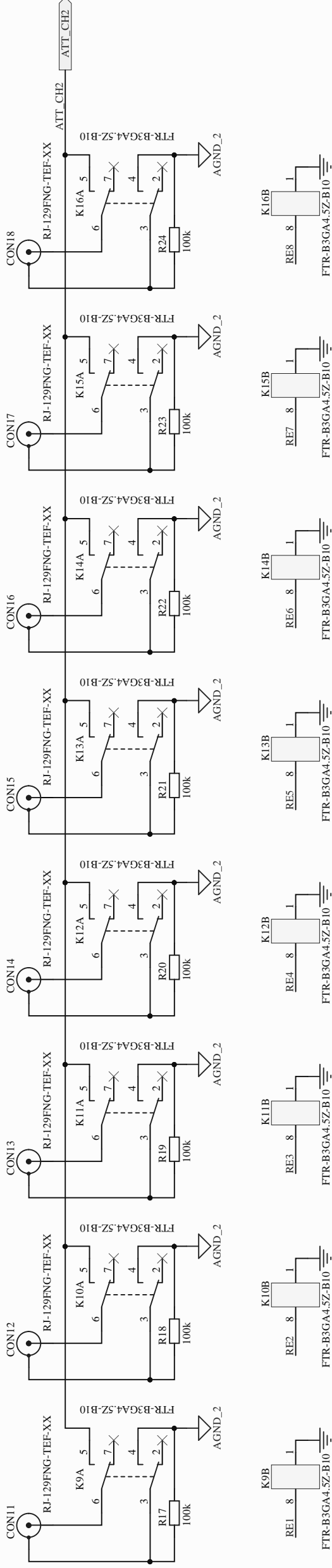
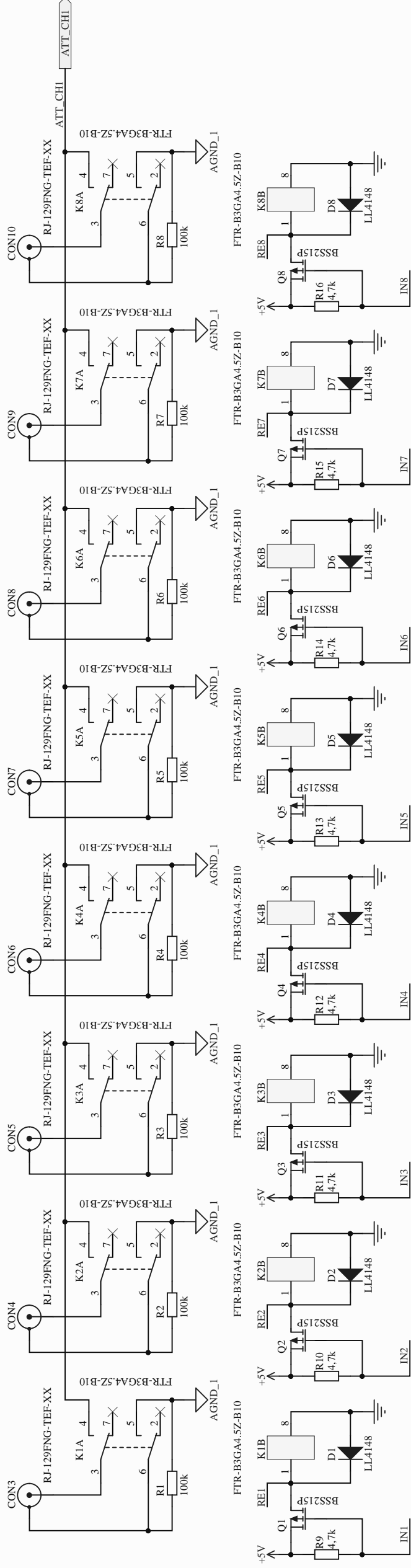


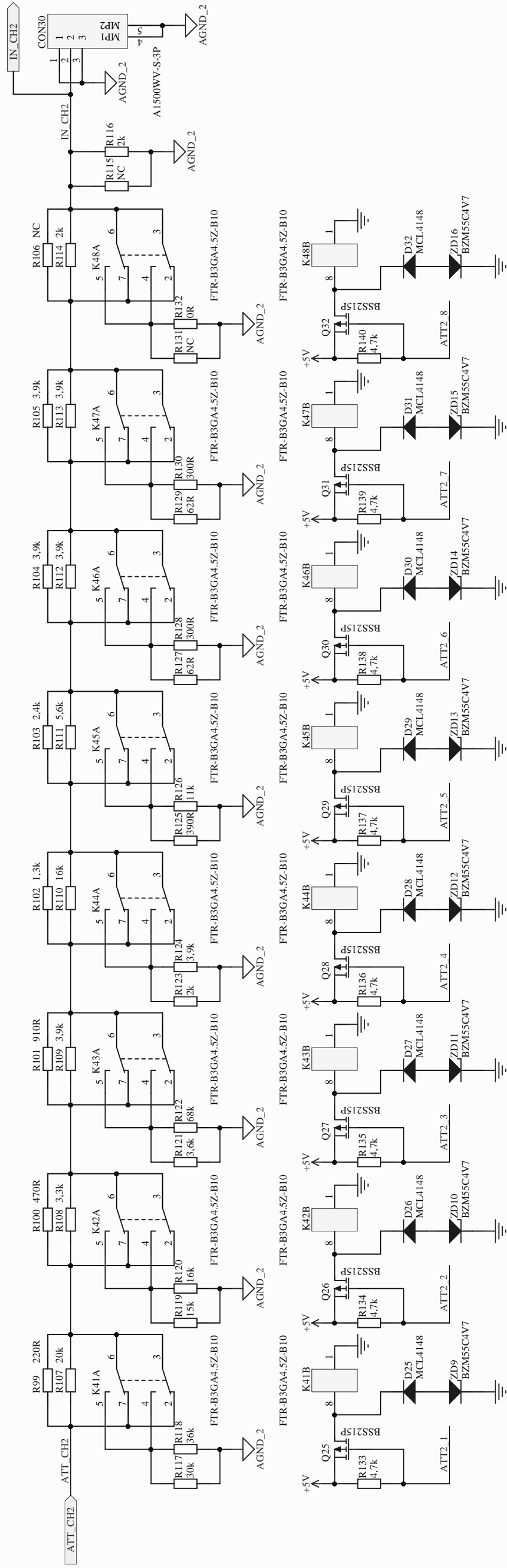
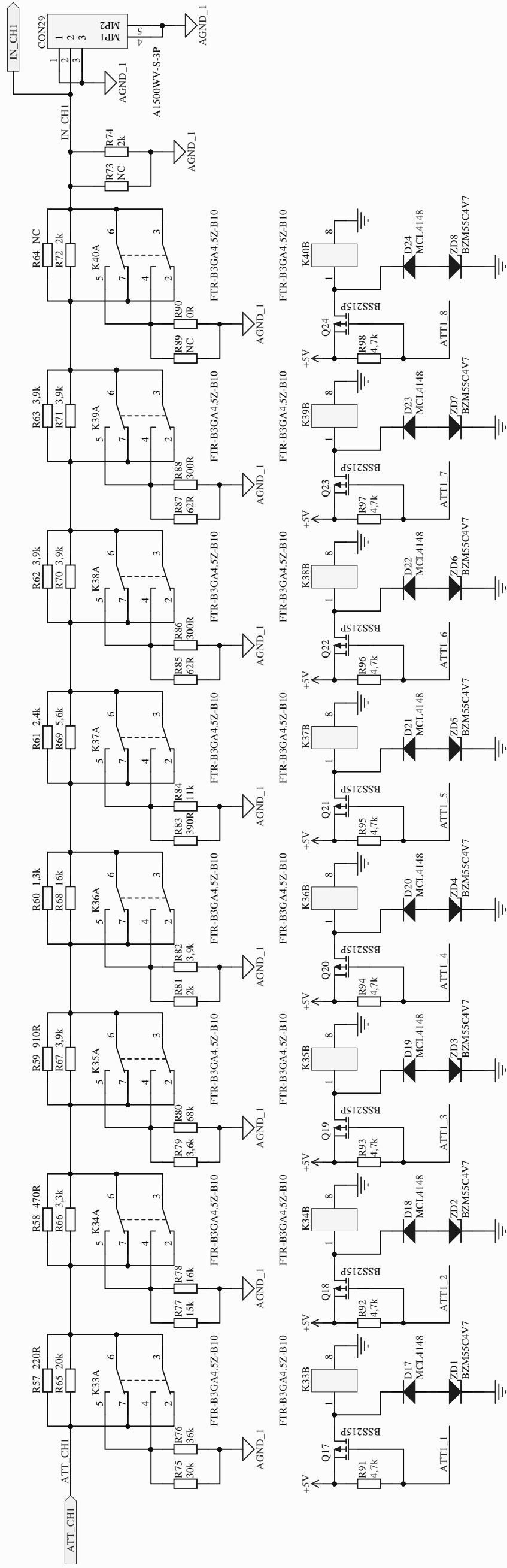


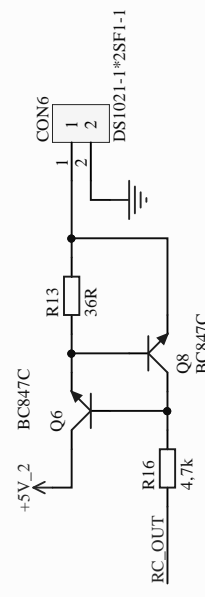
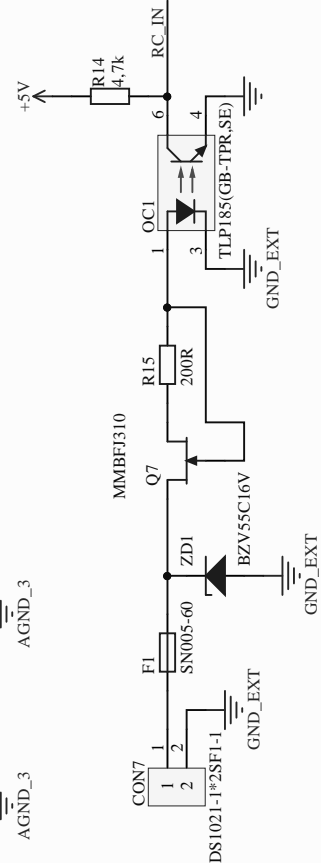
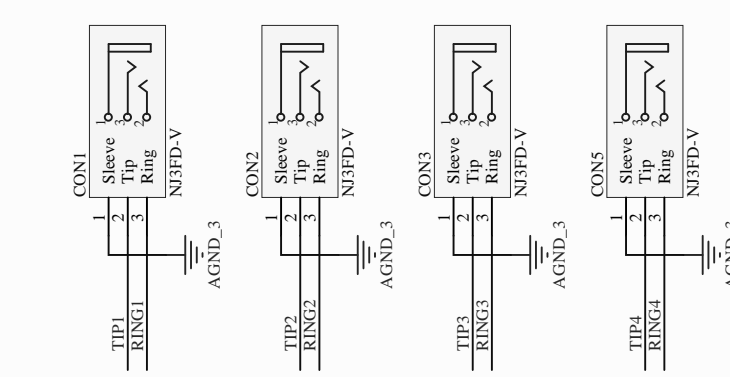
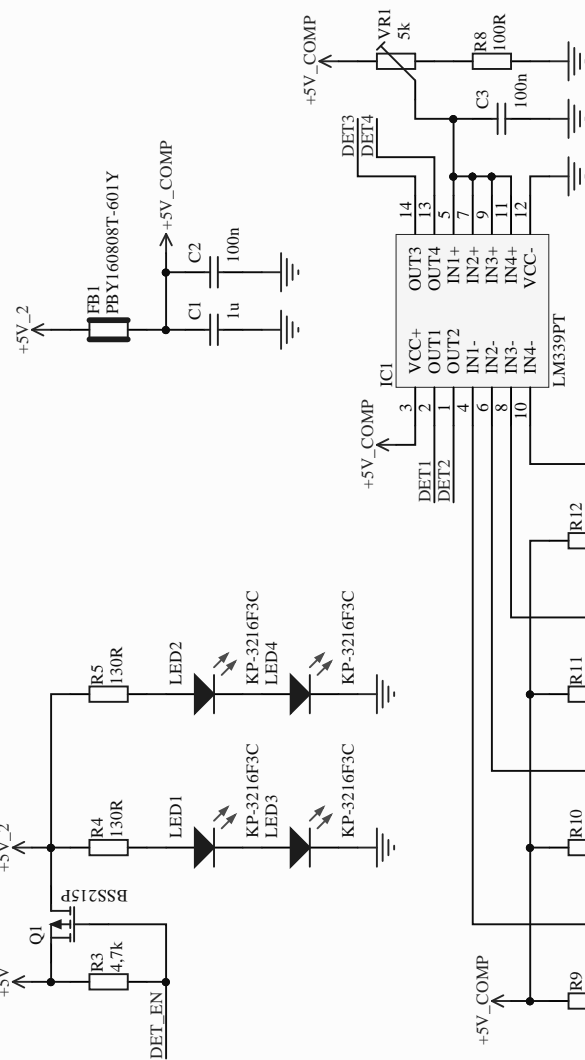
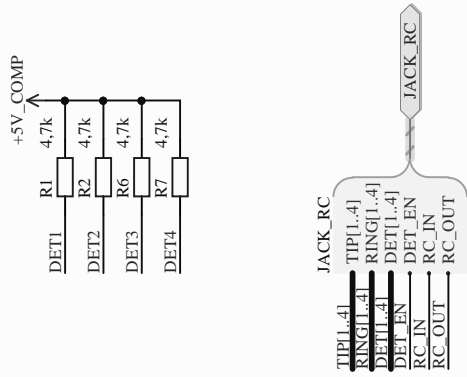
Title [05] - I2C EXPANDER

Size: A4	Number:6	Revision:*
Date: 22.5.2017	Time: 10:40:58	Sheet 6 of 13
File: D:\Elektron\Preampl\sa_p1\05] - I2C EXPANDER.SchDoc		





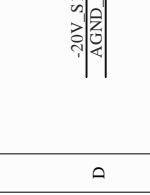
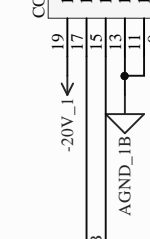
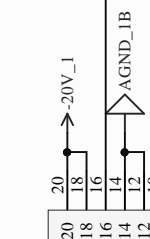
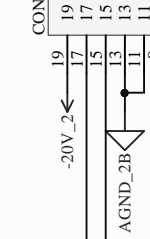
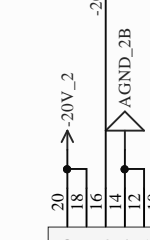
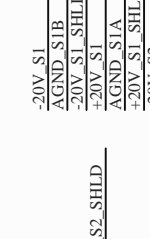
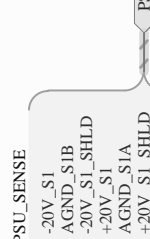
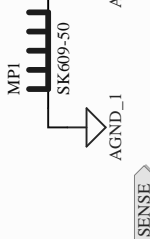
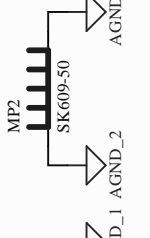
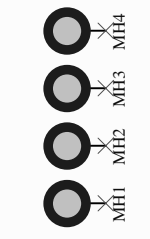
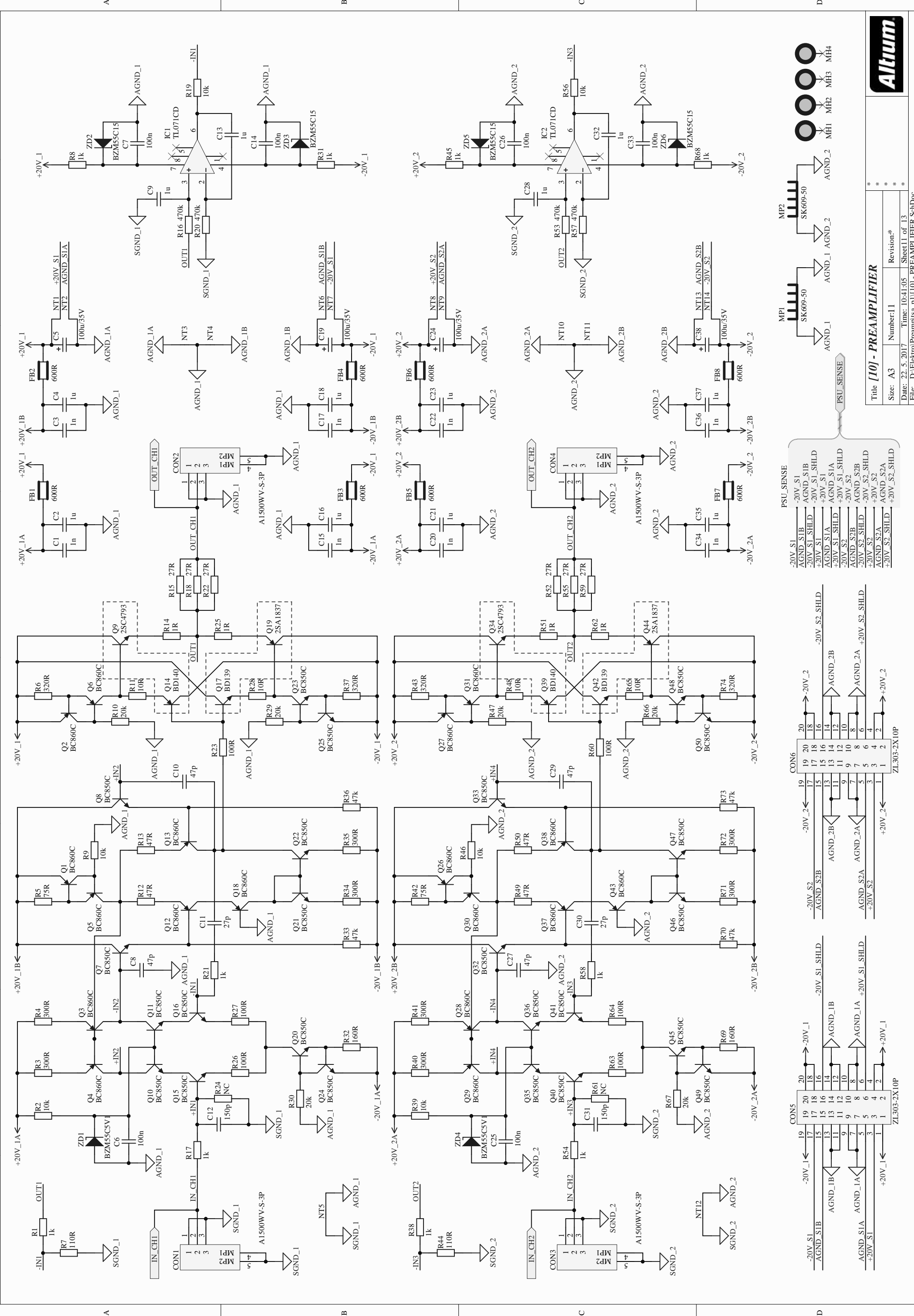




Title [09] - JACK CONNECTORS, REMOTE CONTROL

Size: A4	Number:10	Revision:*
Date: 22.5.2017	Time: 10:41:04	Sheet 10 of 13
File: D:\Elektro\Preamp\usa_p1\09 - JACK CONNECTORS, REMOTE CONTROL.SchDoc		



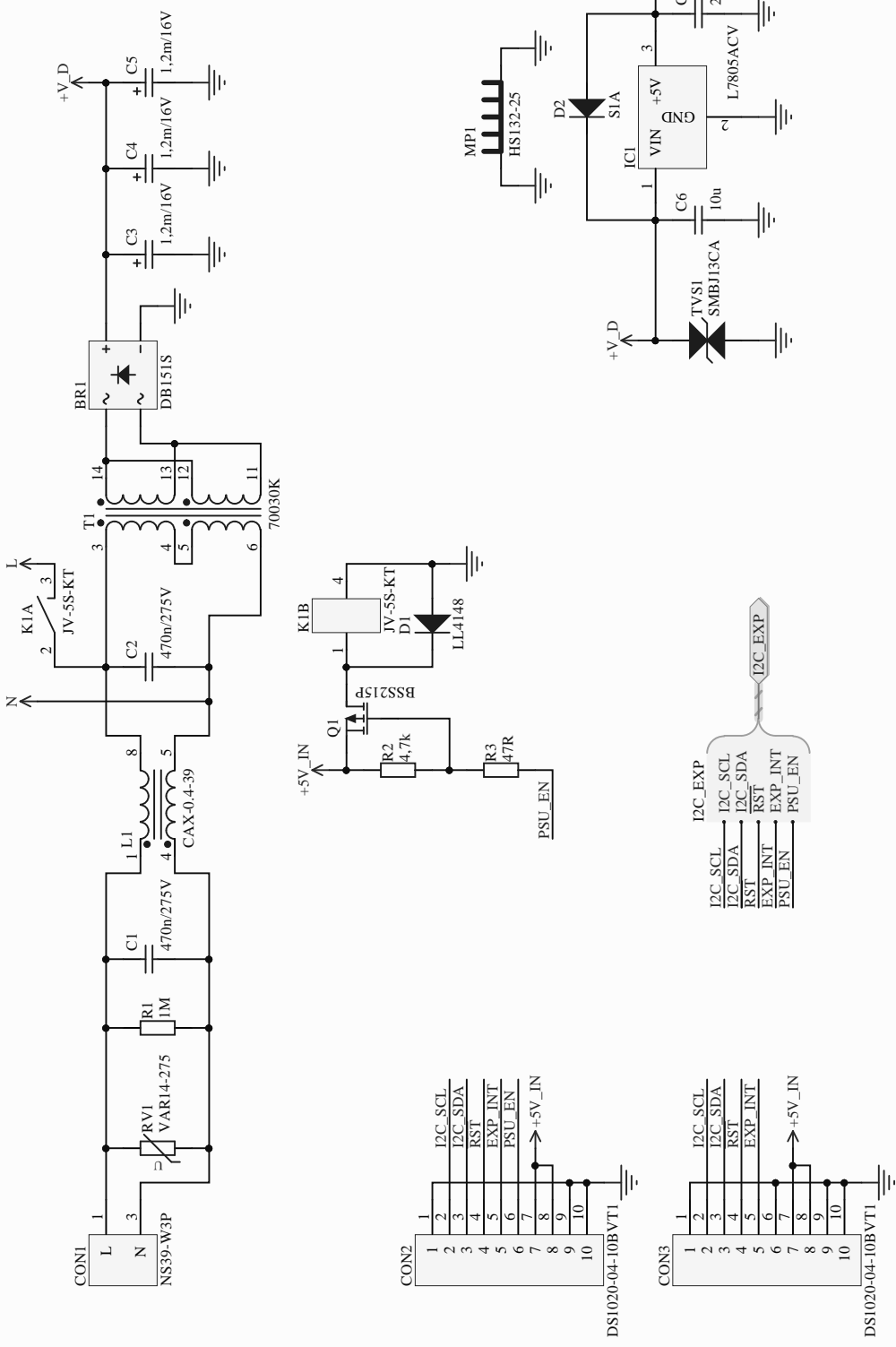


A

B

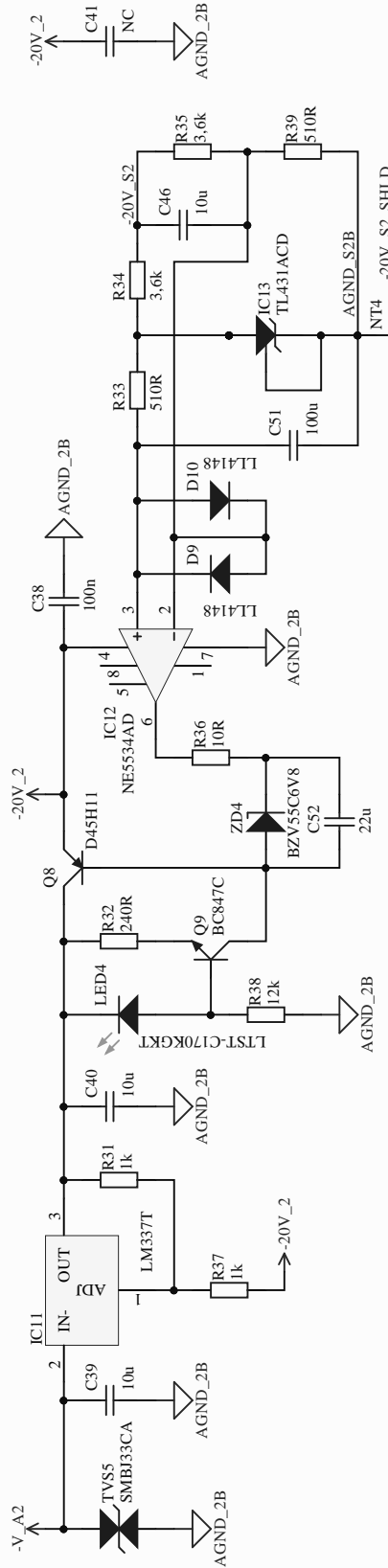
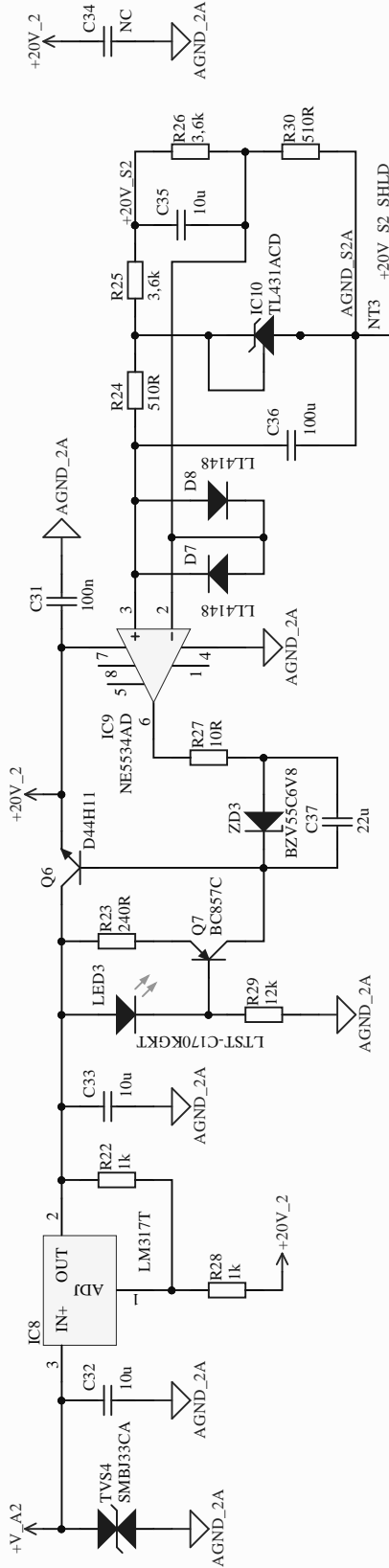
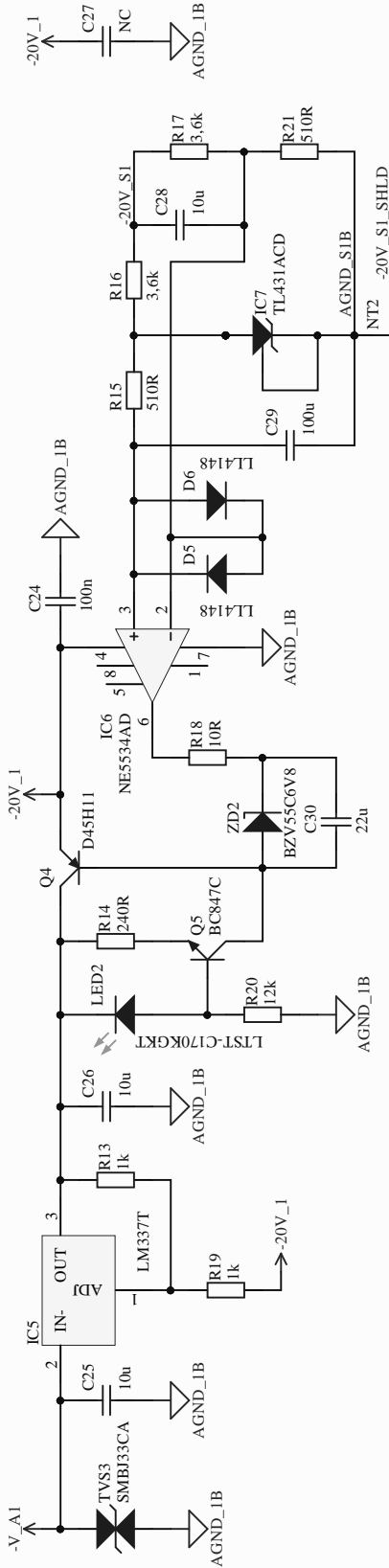
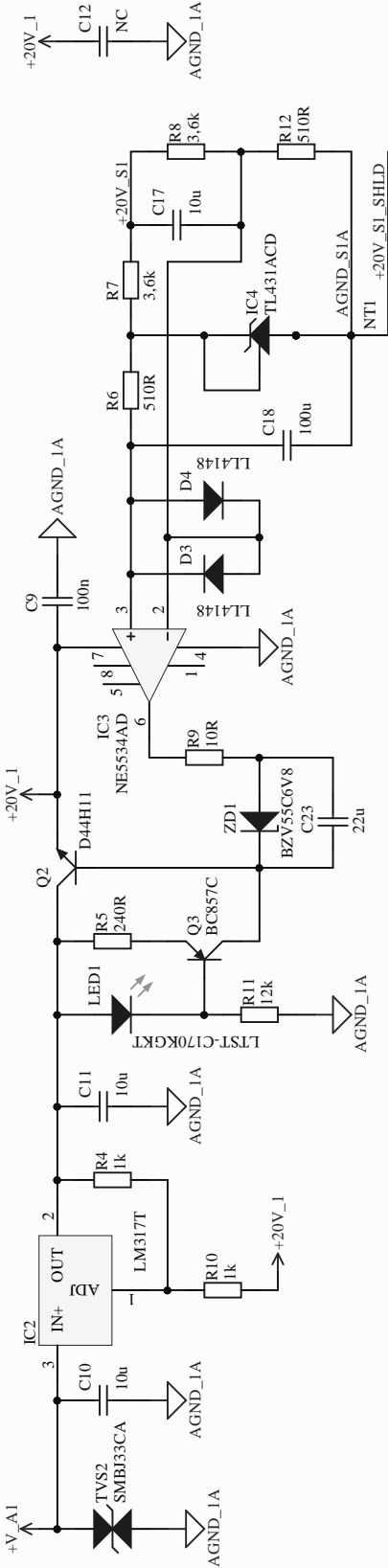
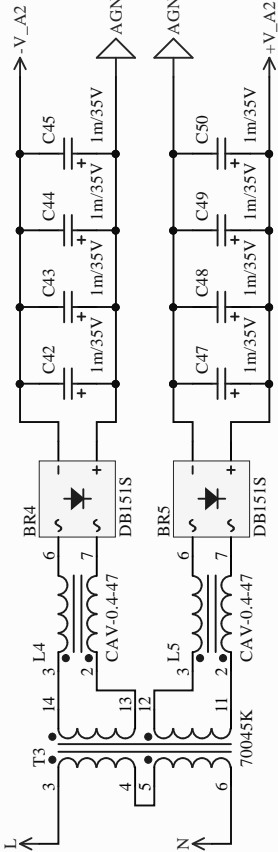
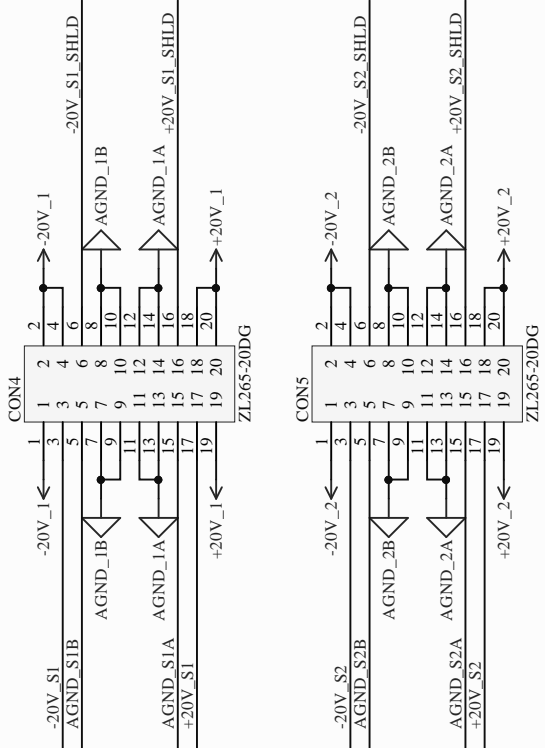
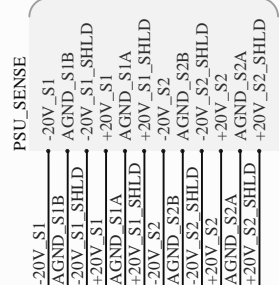
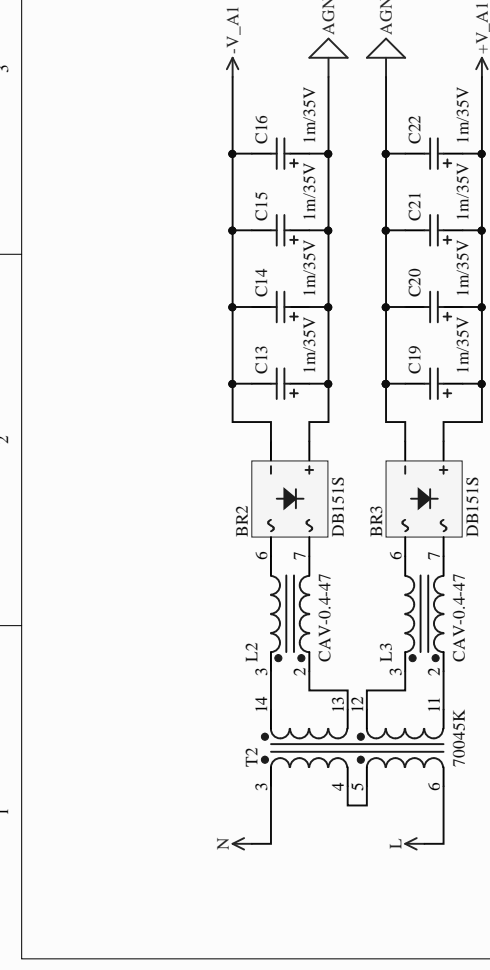
C

D

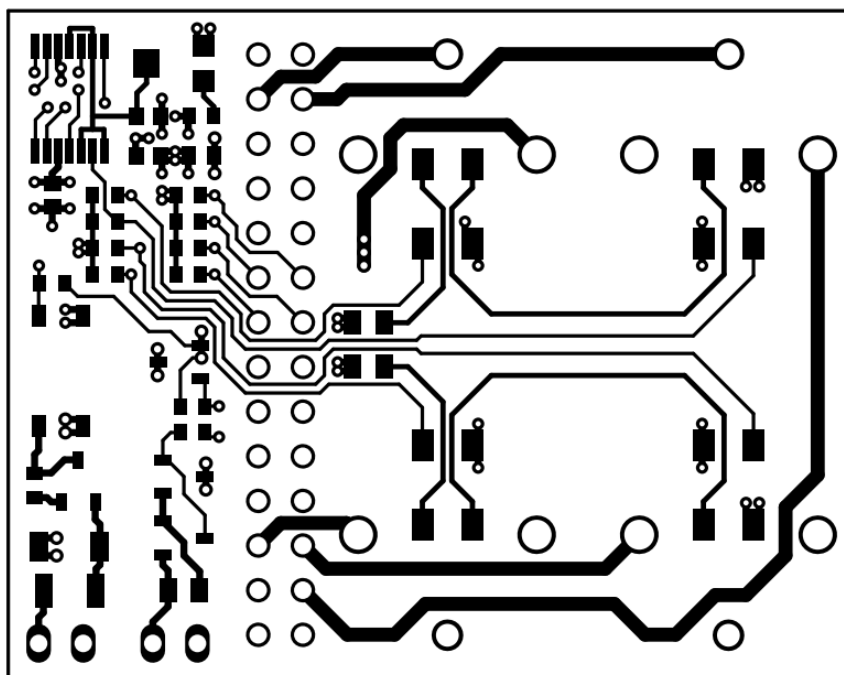


Title [10] - POWER SUPPLY			*	*	*	*
Size: A4	Number:12	Revision:*				
Date: 22.5.2017	Time: 10:41:07	Sheet 12 of 13				
File: D:\Elektro\Preampl\sa_p1\111 - DIGITAL POWER SUPPLY.SchDoc						

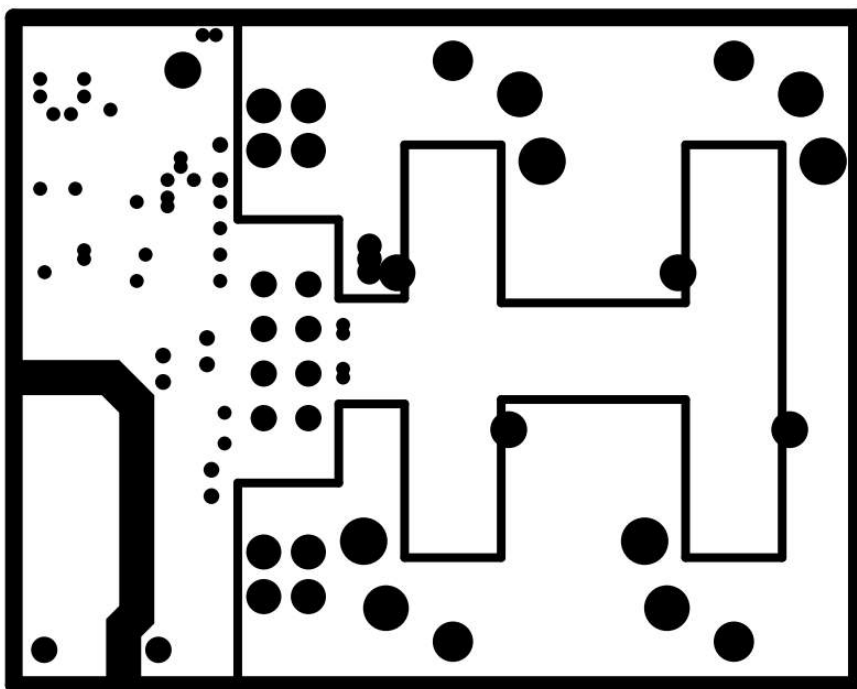




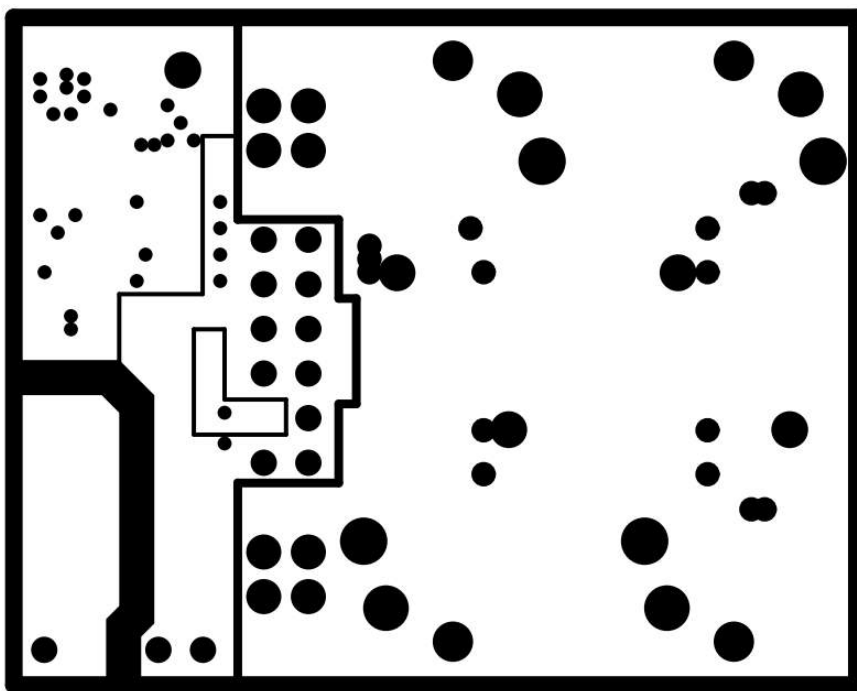
A.2 DPS



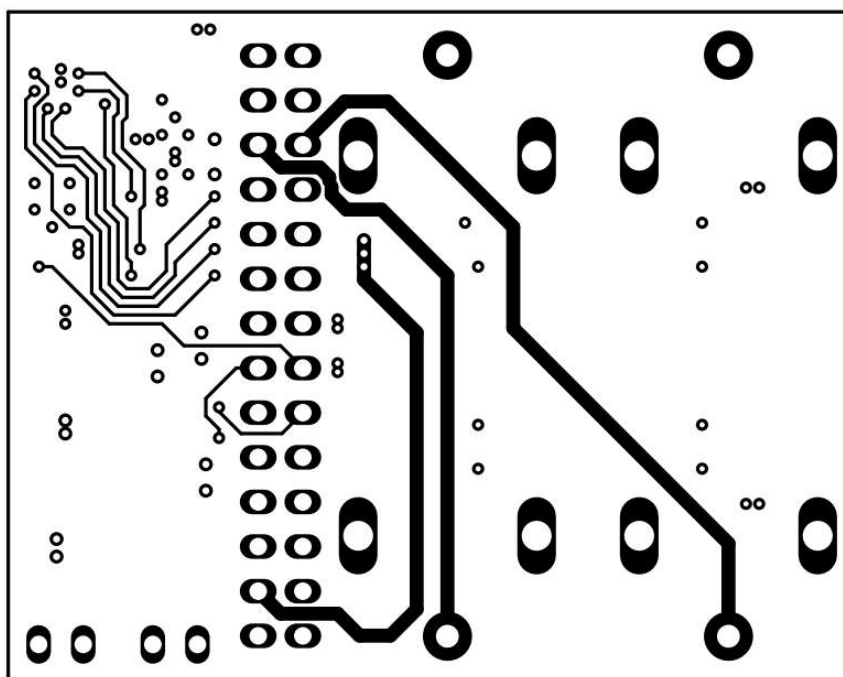
Obr. A.1: Vodivý motív - vrchná strana



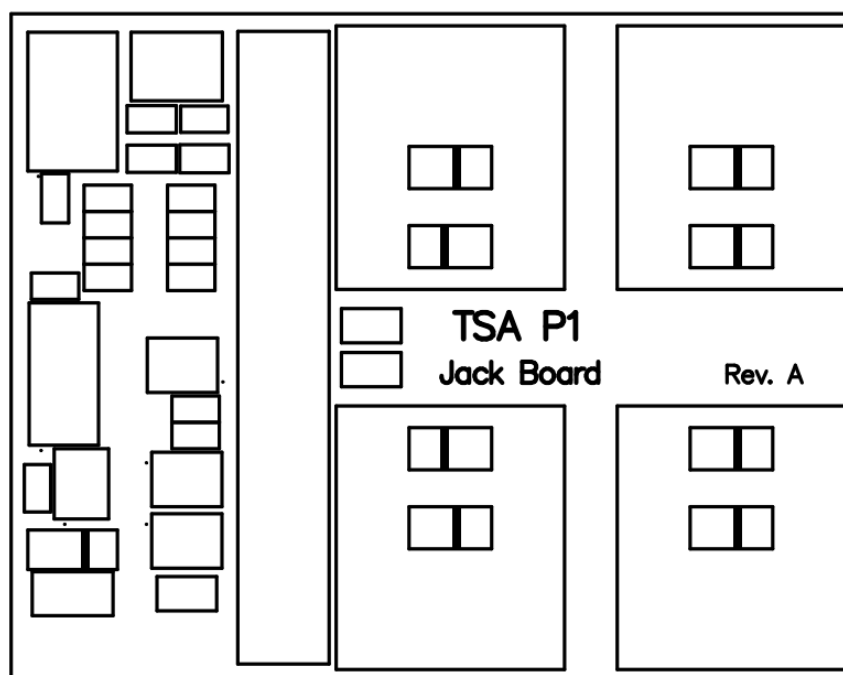
Obr. A.2: Vodivý motív - prvá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)



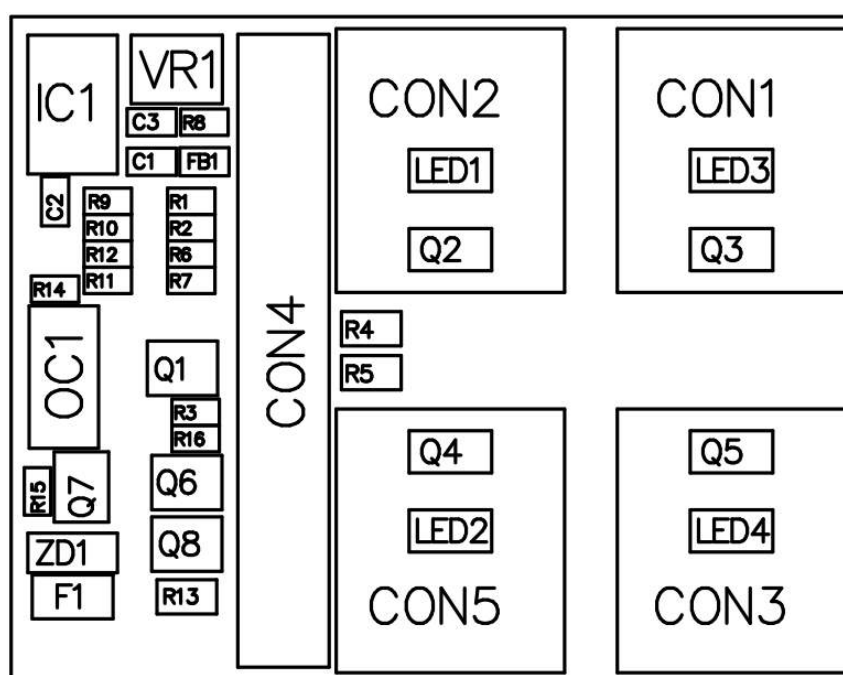
Obr. A.3: Vodivý motív - druhá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)



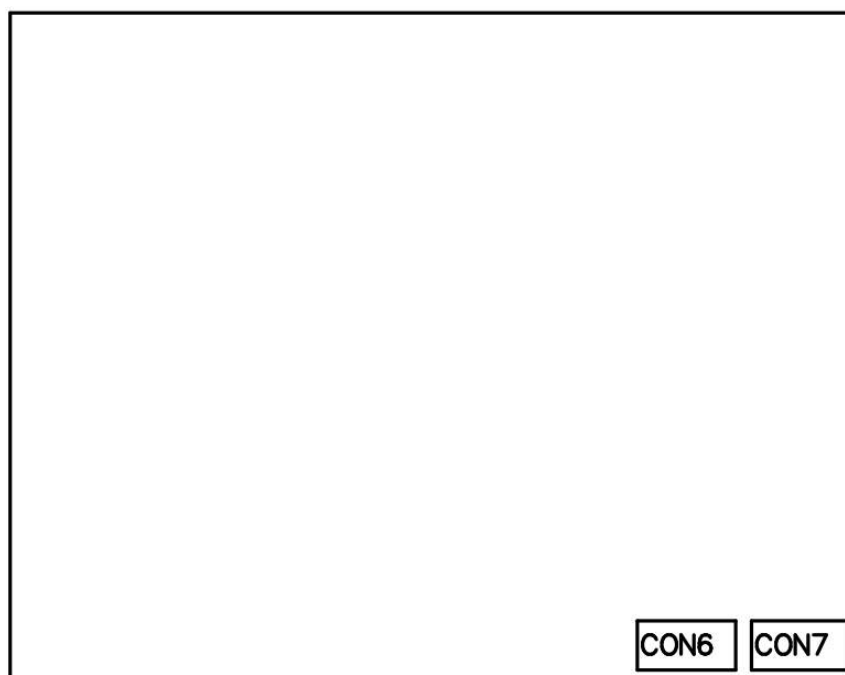
Obr. A.4: Vodivý motív - spodná strana



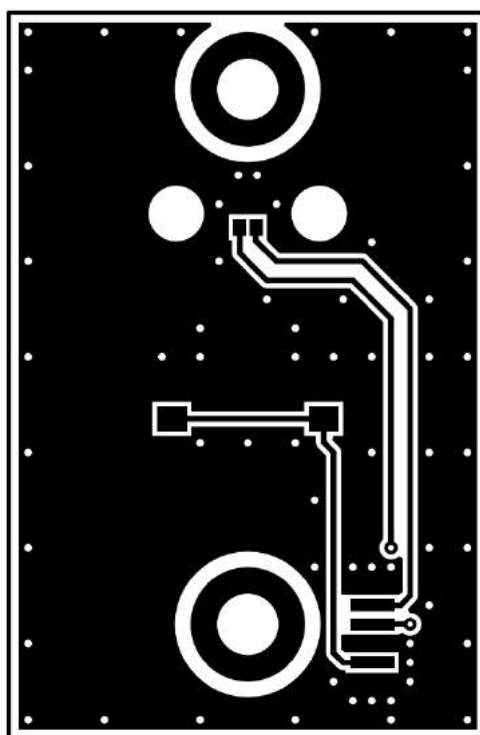
Obr. A.5: Servisná potlač - vrchná strana



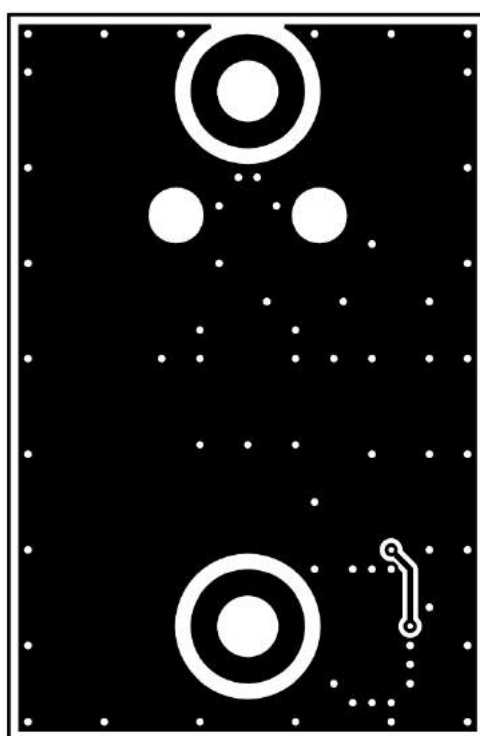
Obr. A.6: Montážny výkres - vrchná strana



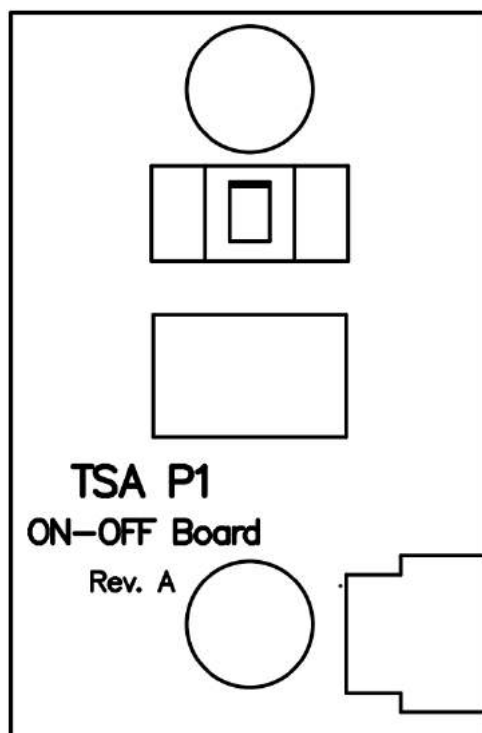
Obr. A.7: Montážny výkres - spodná strana



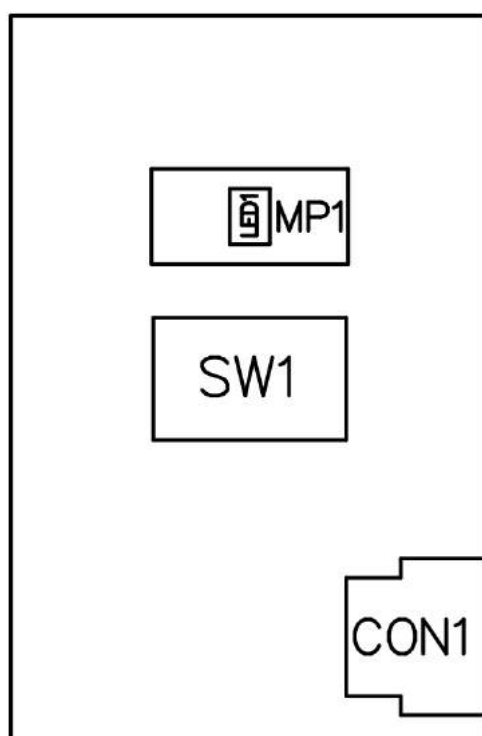
Obr. A.8: Vodivý motív - vrchná strana



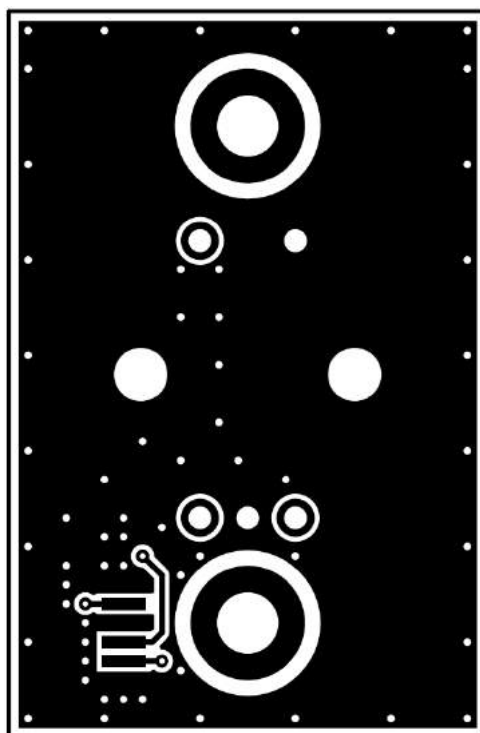
Obr. A.9: Vodivý motív - spodná strana



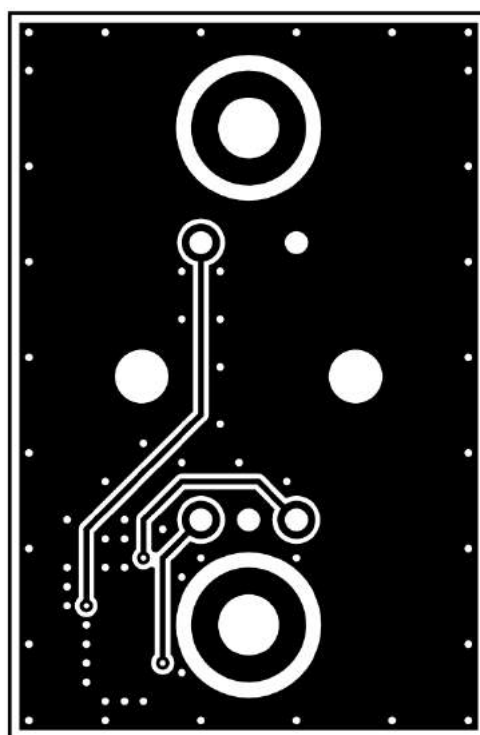
Obr. A.10: Servisná potlač - vrchná strana



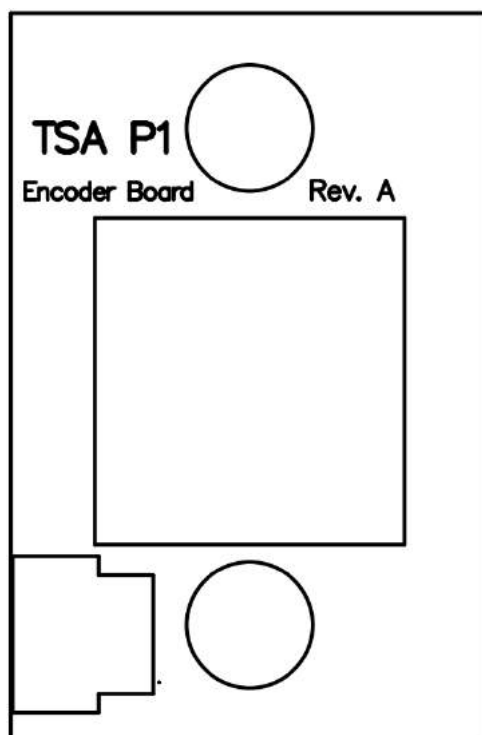
Obr. A.11: Montážny výkres - vrchná strana



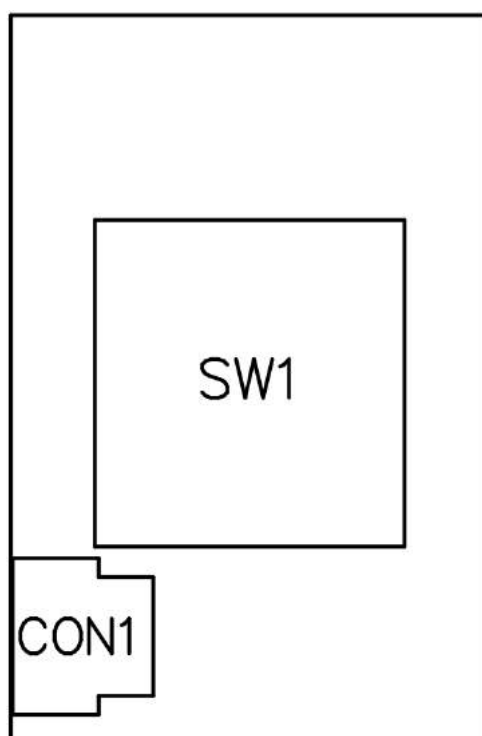
Obr. A.12: Vodivý motív - vrchná strana



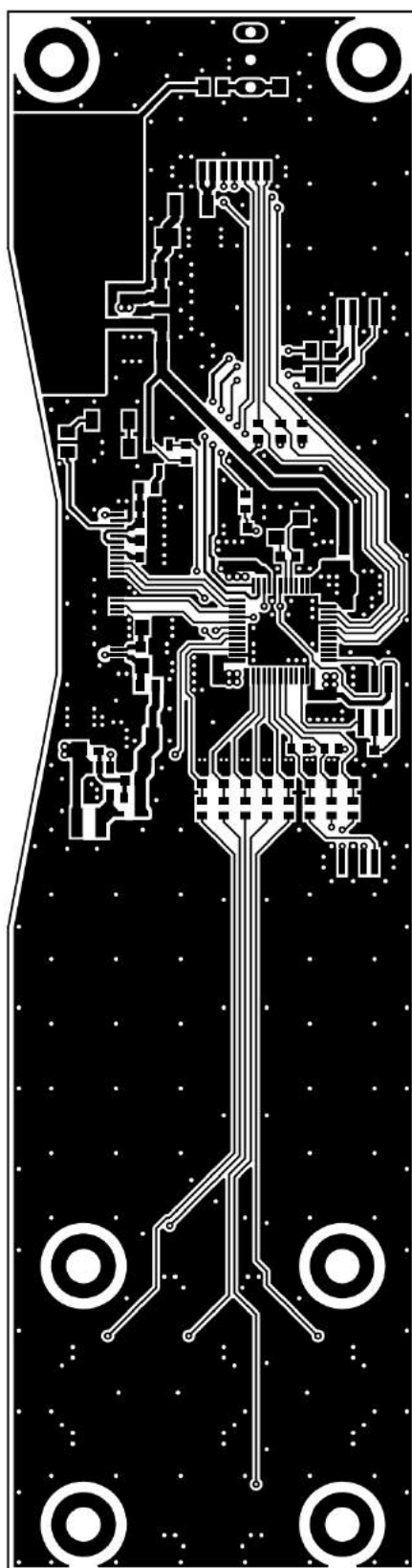
Obr. A.13: Vodivý motív - spodná strana



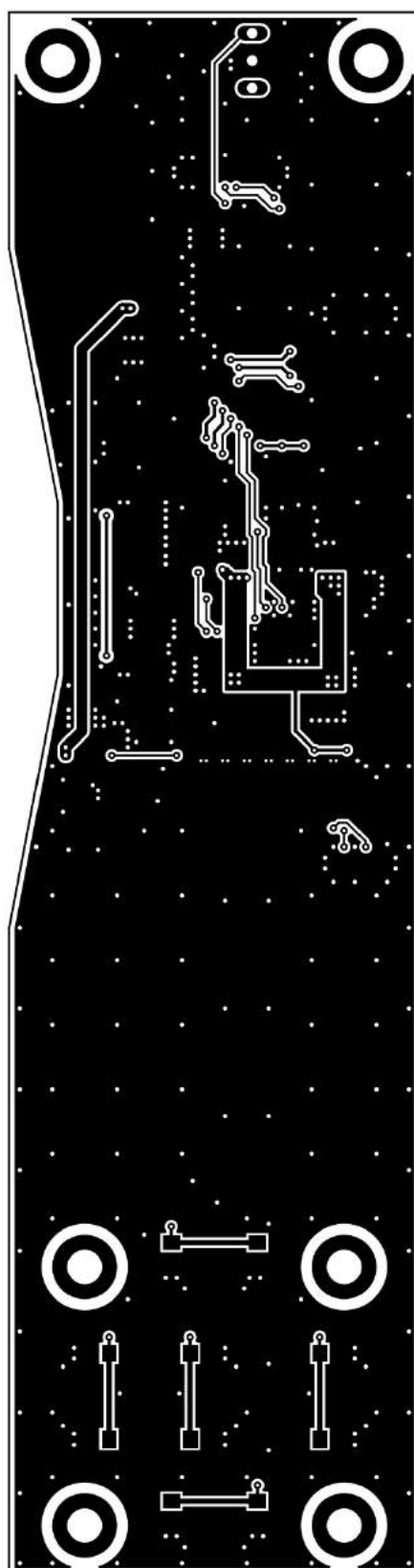
Obr. A.14: Servisná potlač - vrchná strana



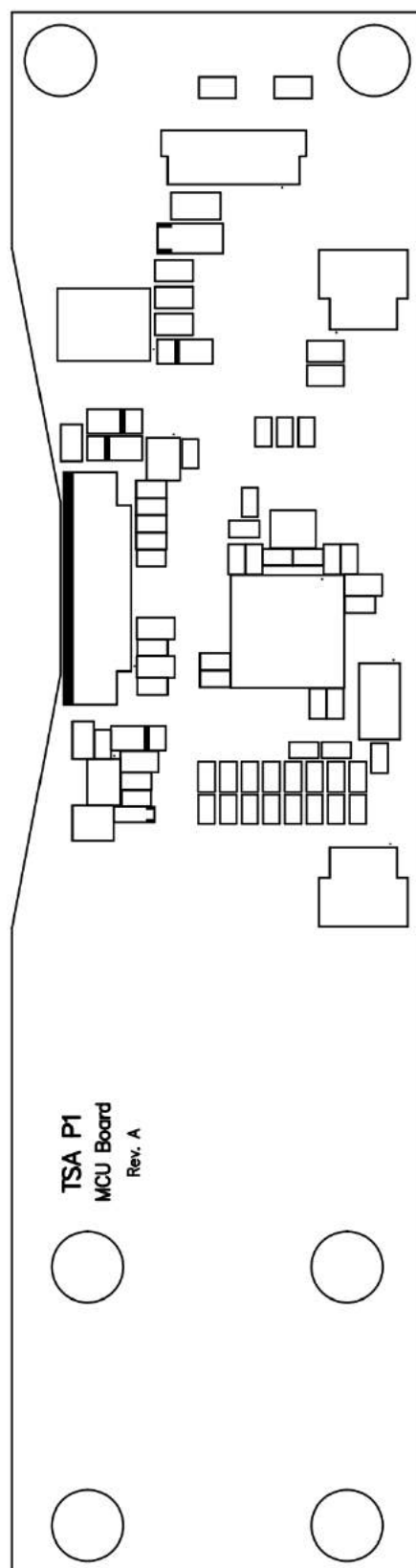
Obr. A.15: Montážny výkres - vrchná strana



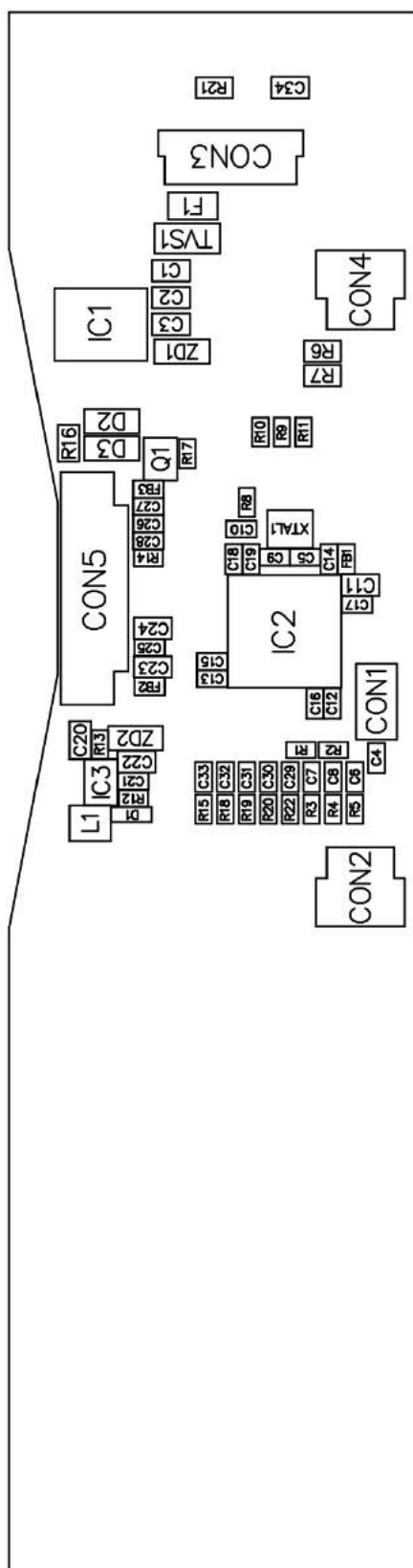
Obr. A.16: Vodivý motív - vrchná strana



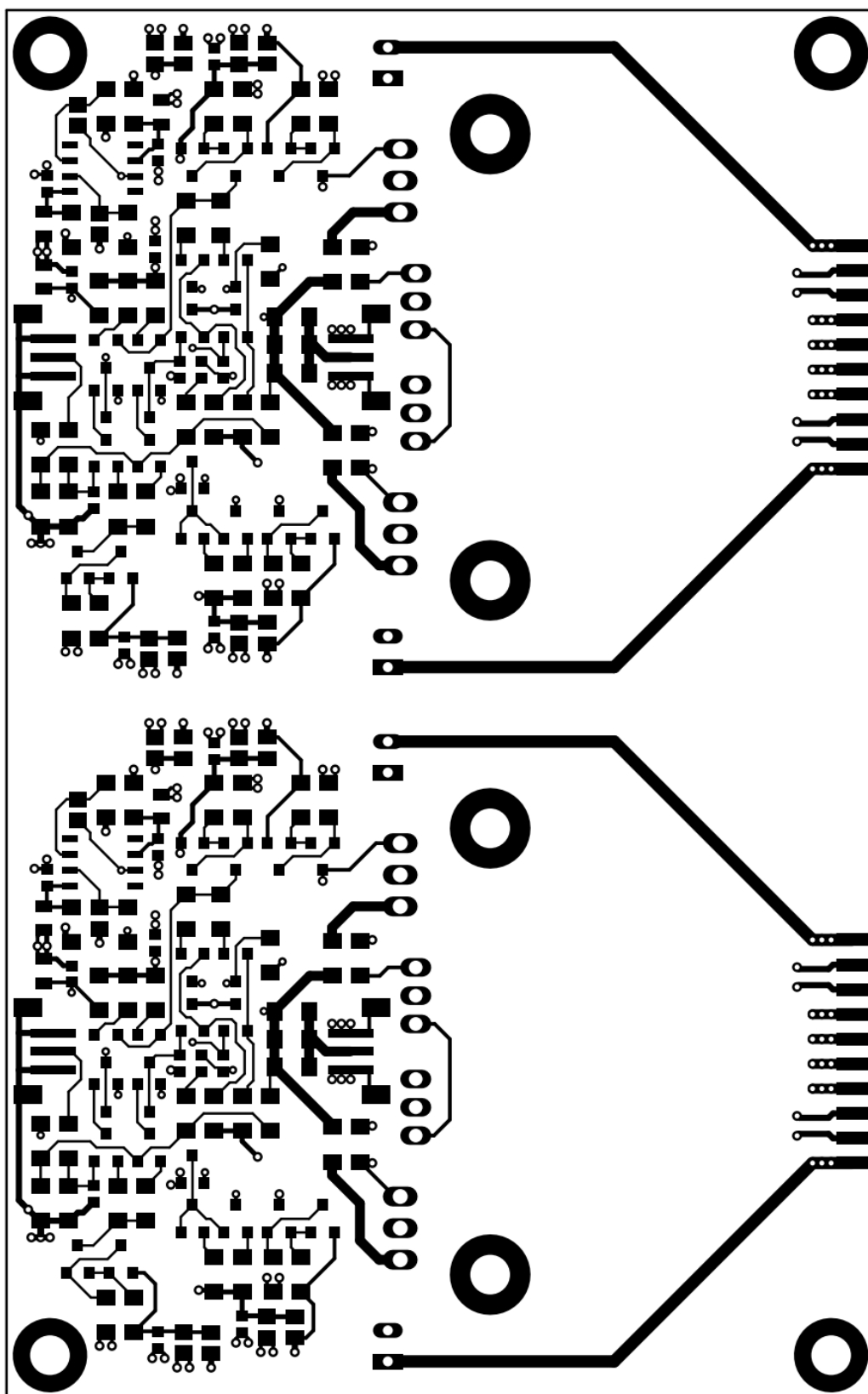
Obr. A.17: Vodivý motív - spodná strana



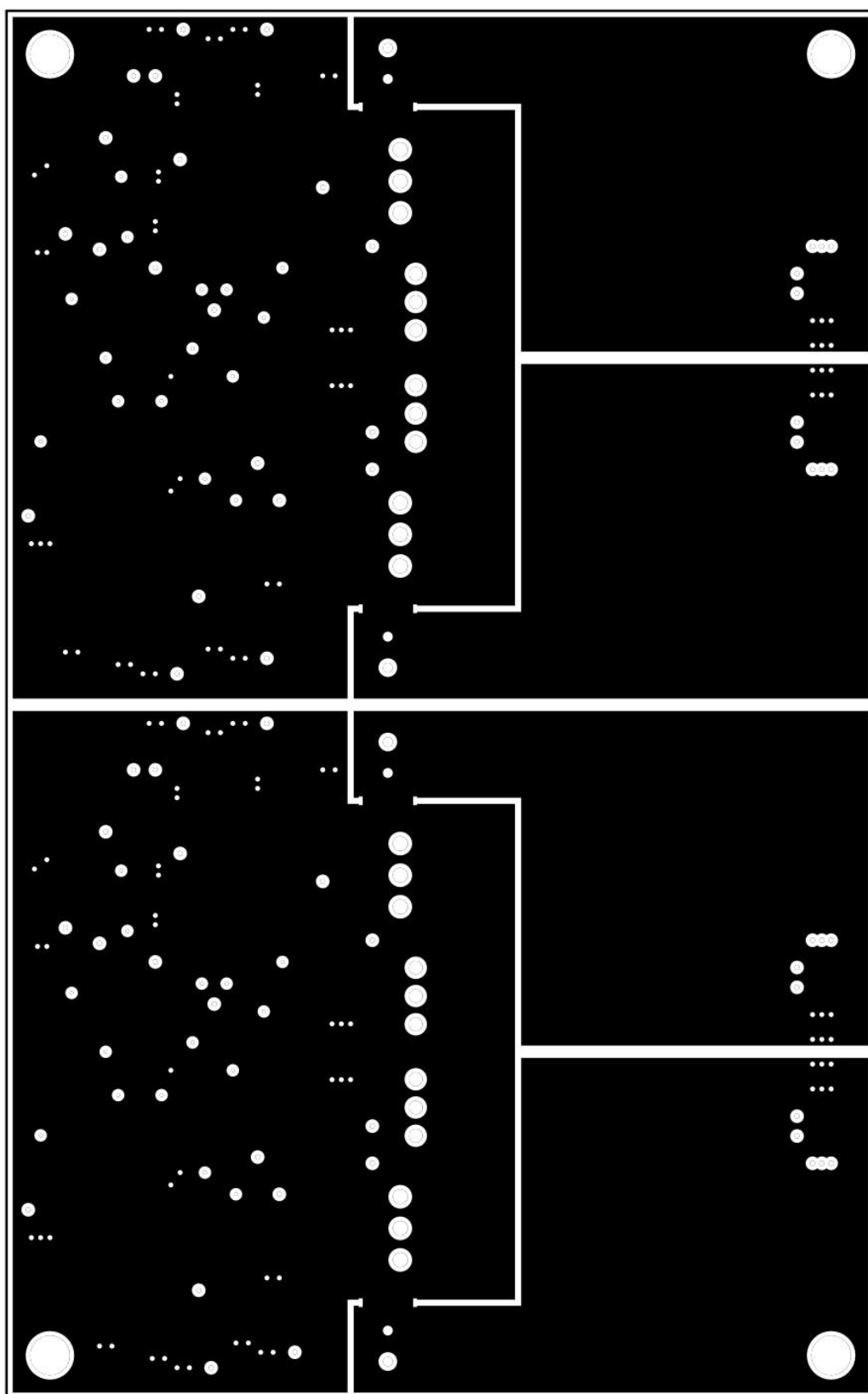
Obr. A.18: Servisná potlač - vrchná strana



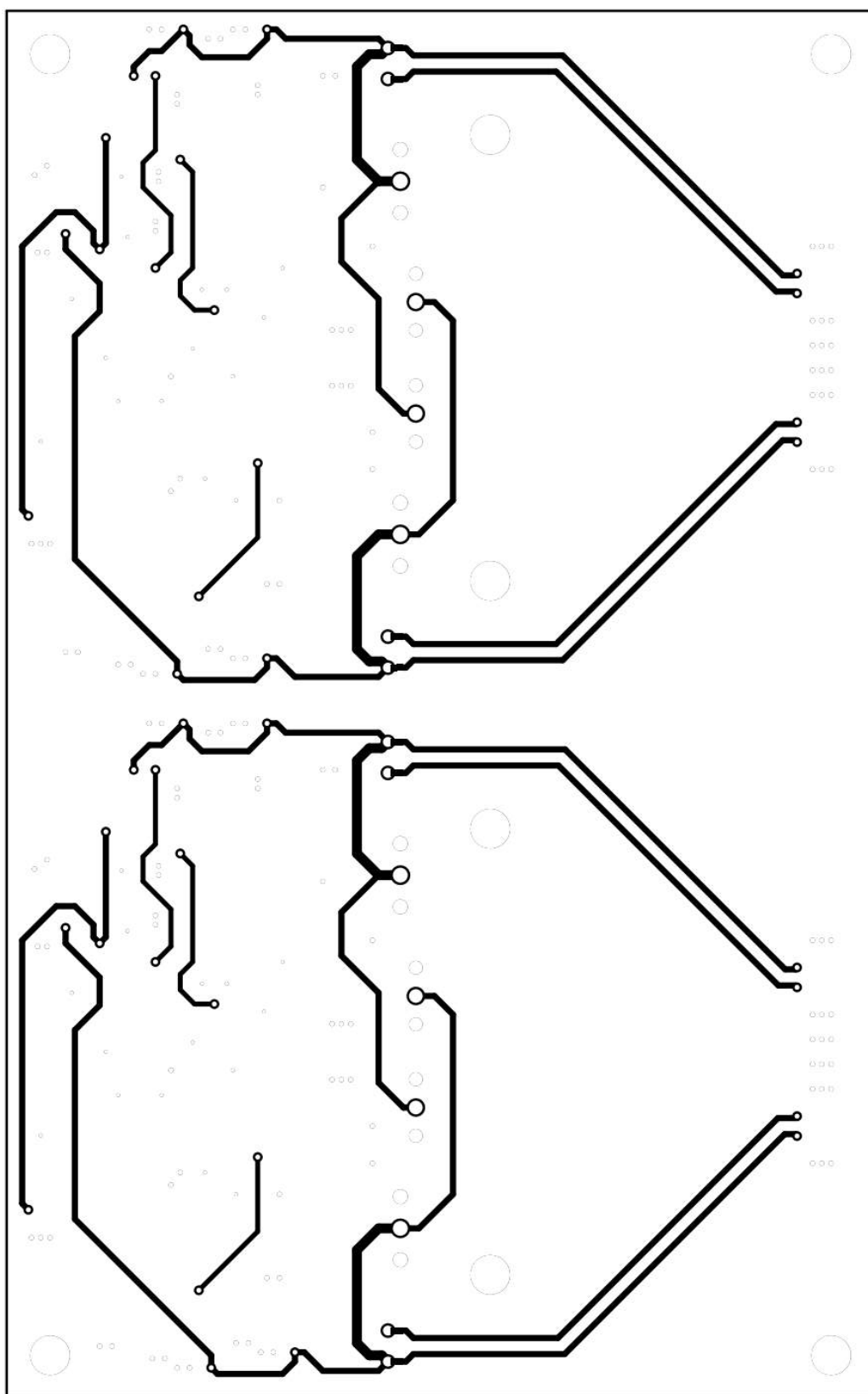
Obr. A.19: Montážny výkres - vrchná strana



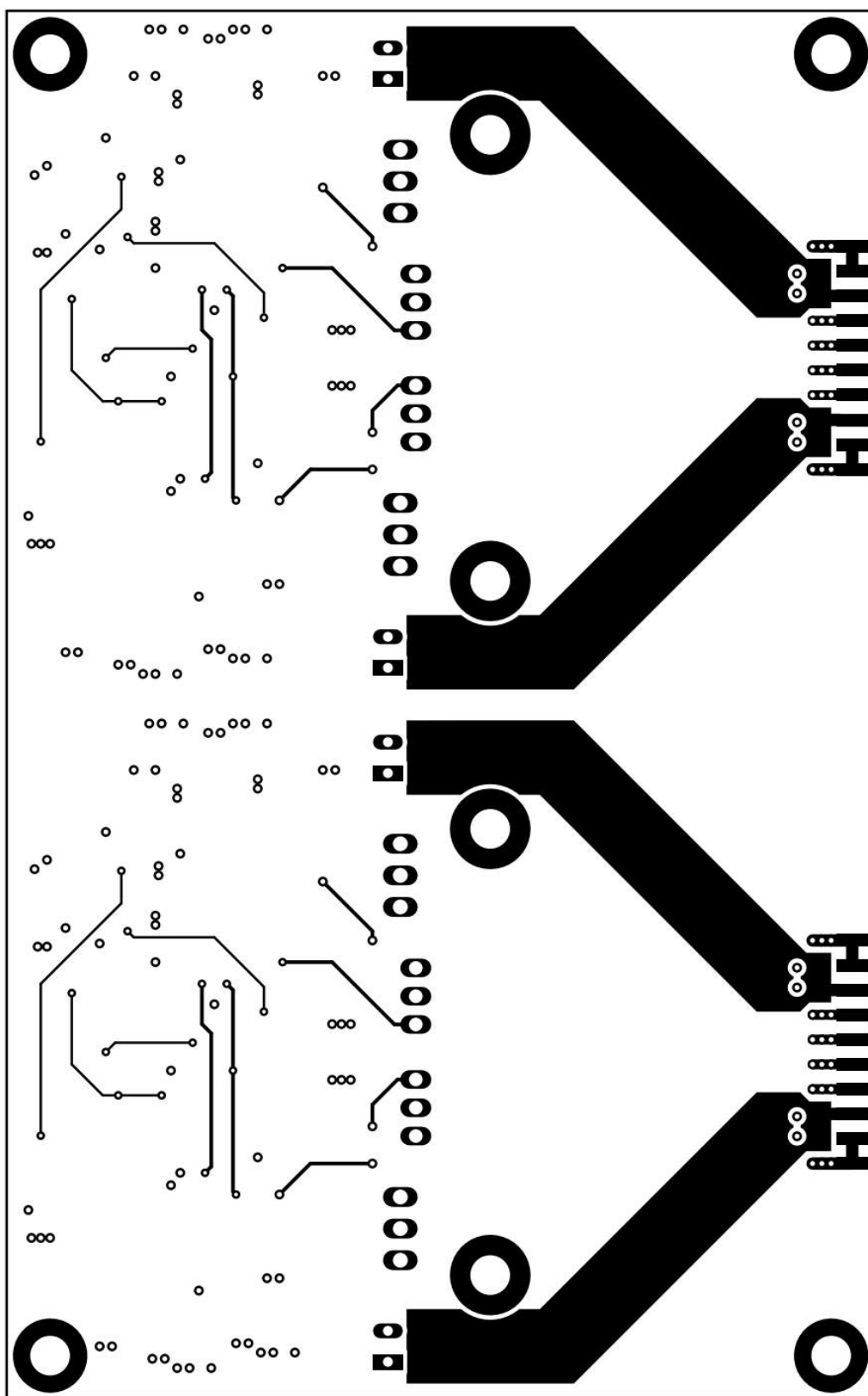
Obr. A.20: Vodivý motív - vrchná strana



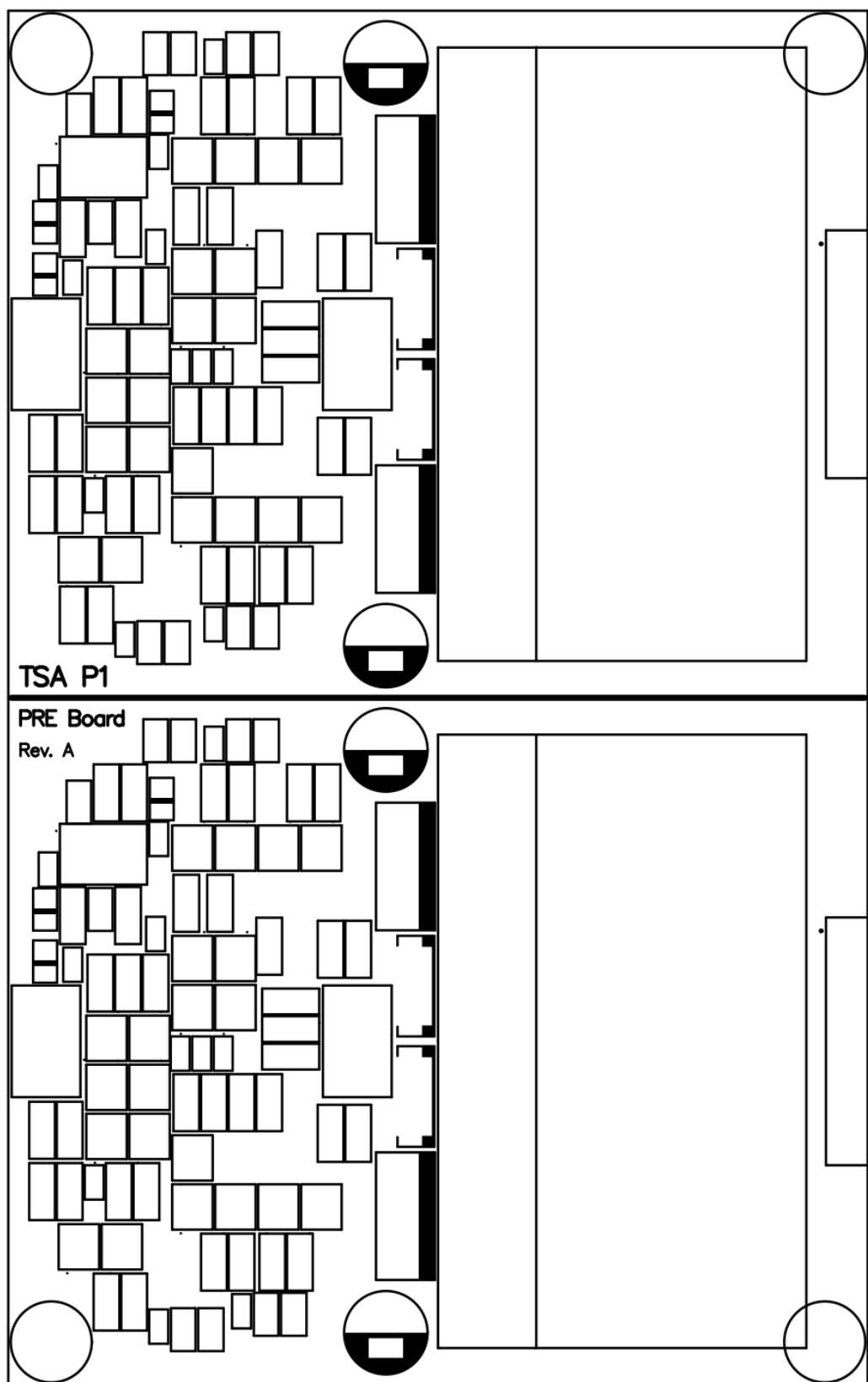
Obr. A.21: Vodivý motiv - první vnitřní vrstva



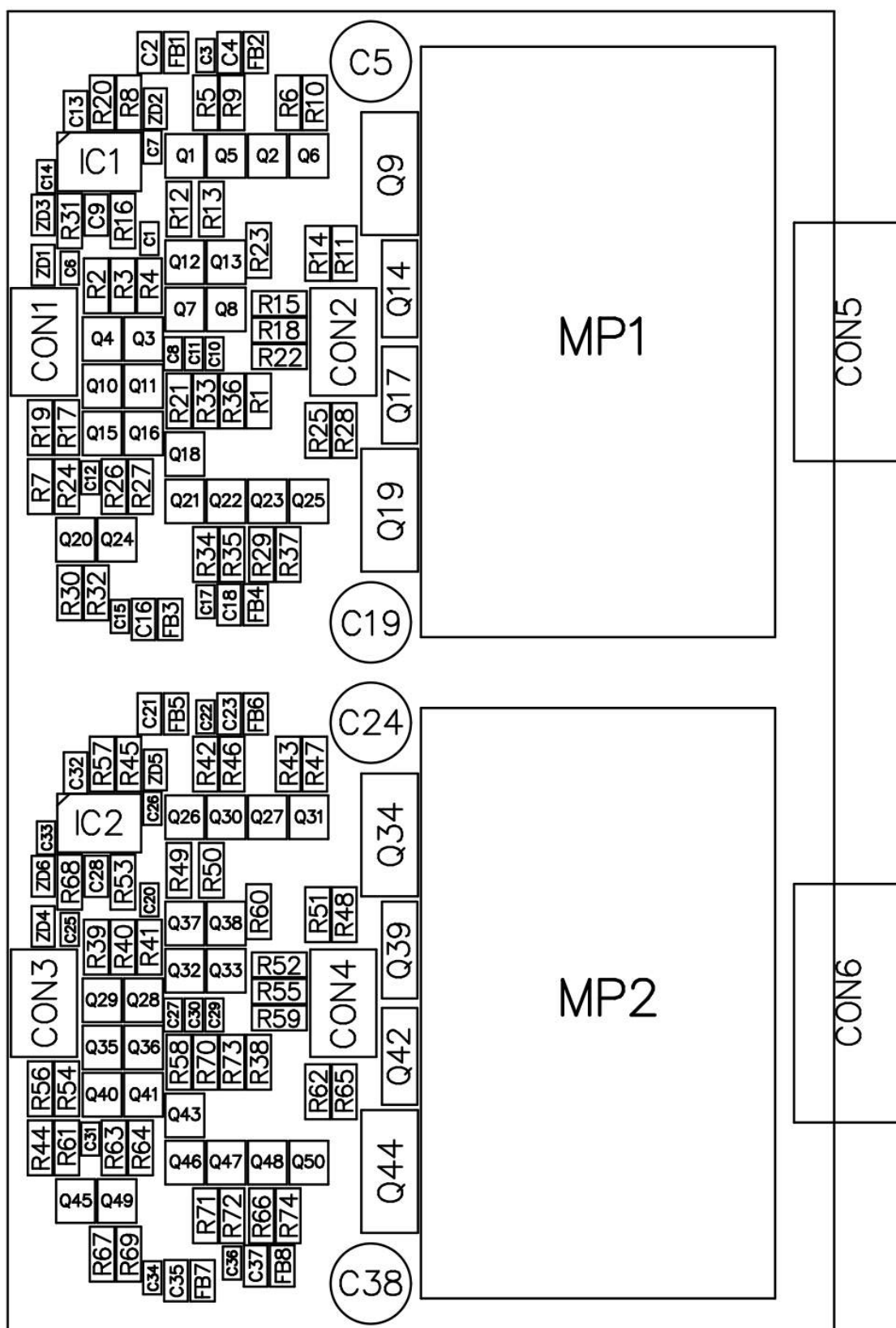
Obr. A.22: Vodivý motív - druhá vnútorná vrstva



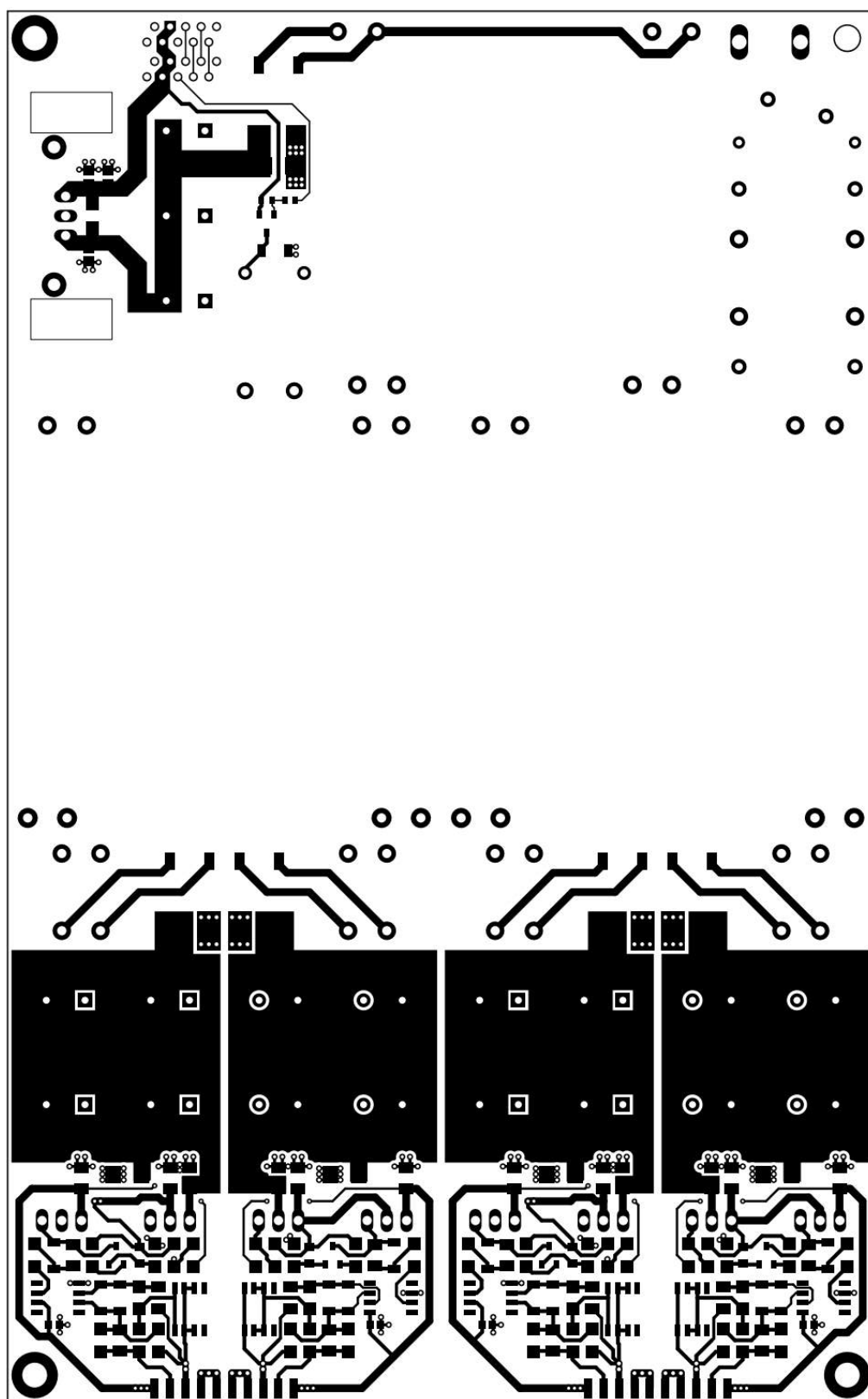
Obr. A.23: Vodivý motív - spodná strana



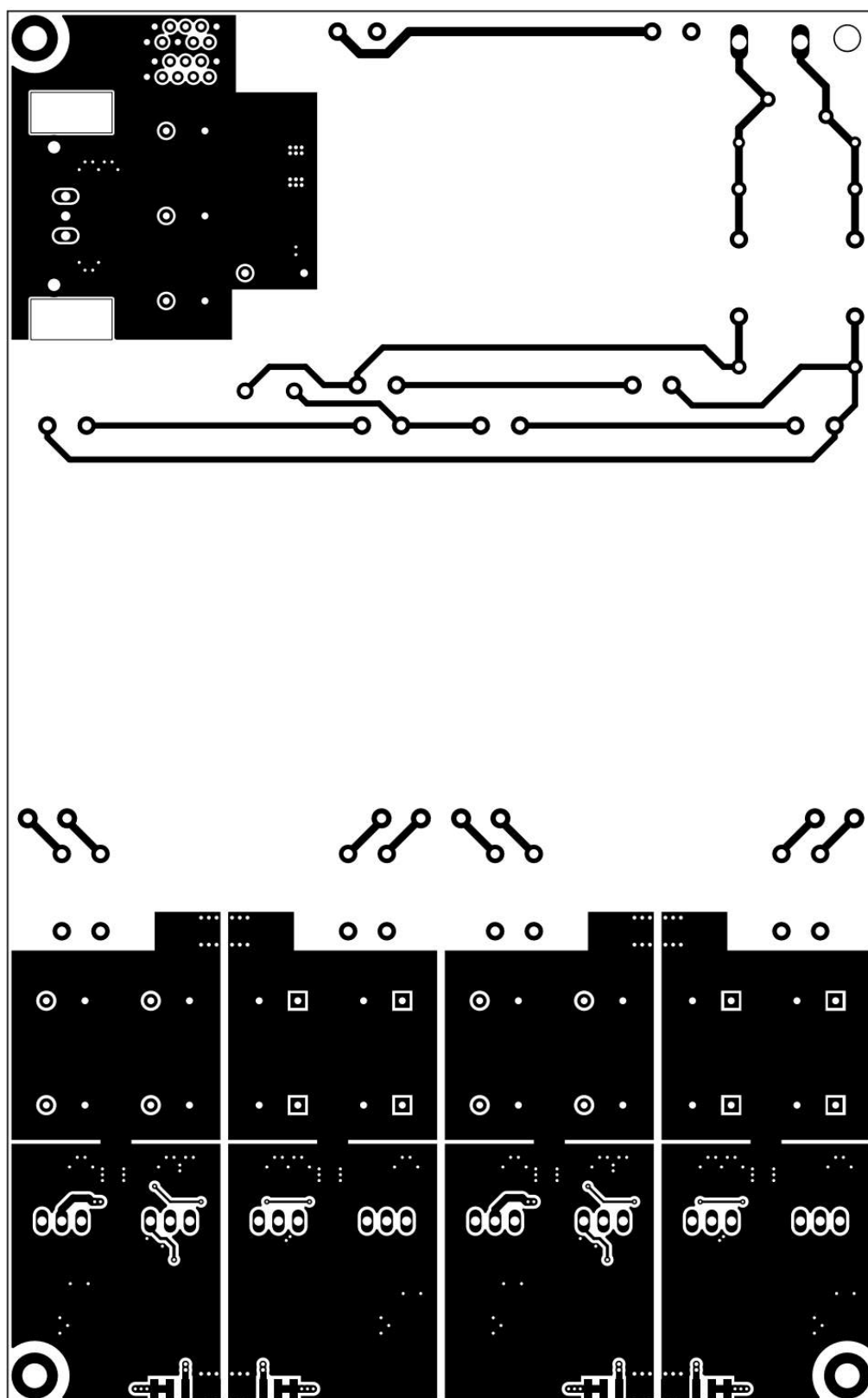
Obr. A.24: Servisná potlač - vrchná strana



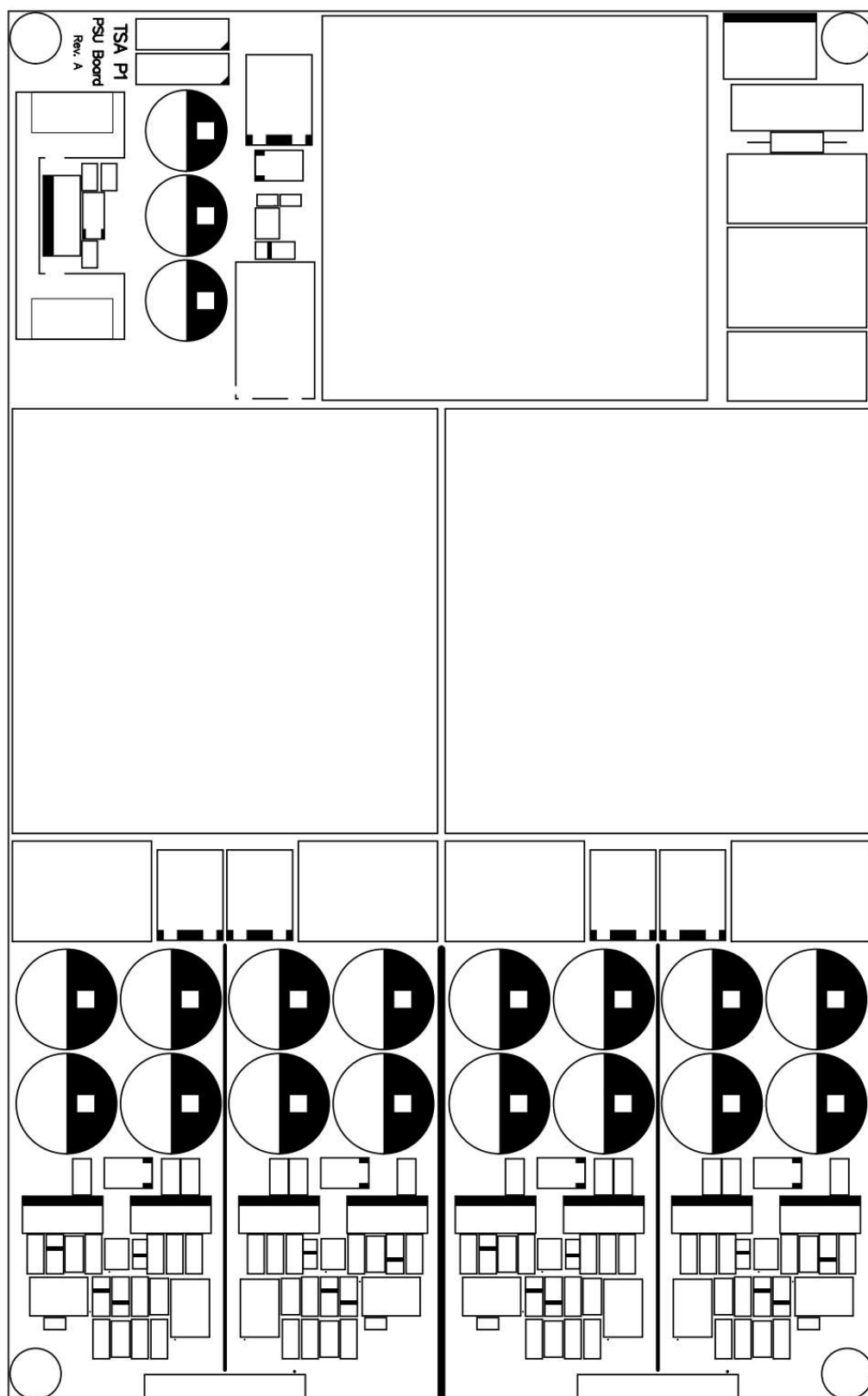
Obr. A.25: Montážný výkres - vrchná strana



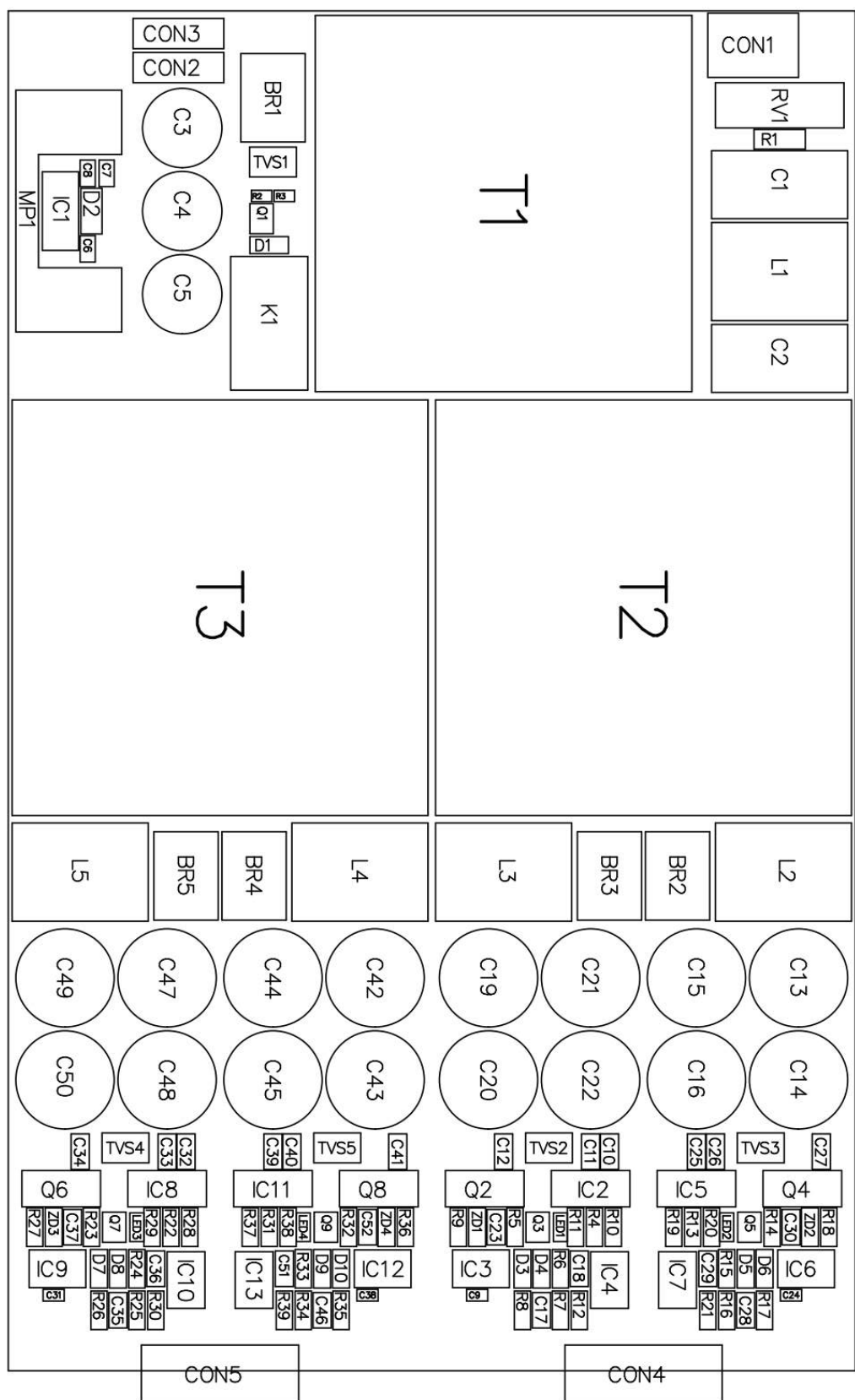
Obr. A.26: Vodivý motív - vrchná strana



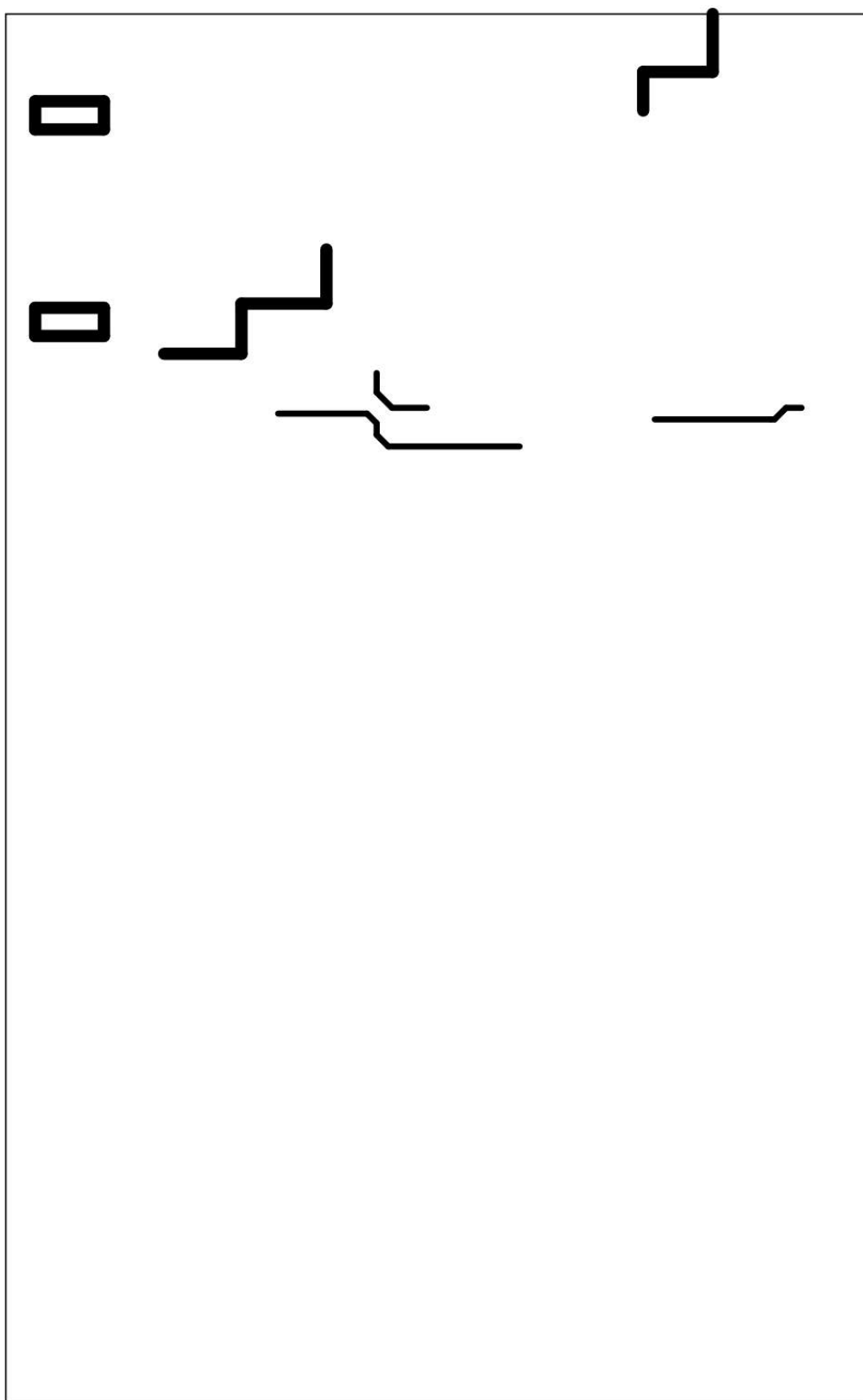
Obr. A.27: Vodivý motív - spodná strana



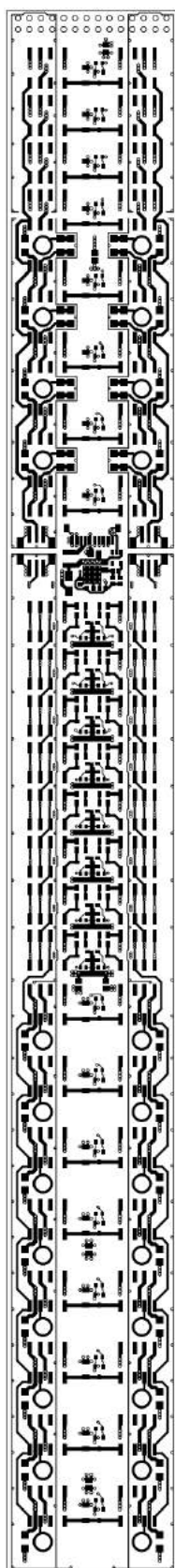
Obr. A.28: Servisná potlač - vrchná strana



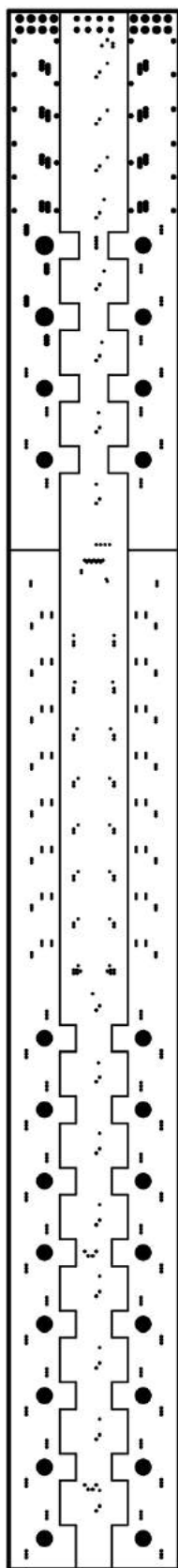
Obr. A.29: Montážny výkres - vrchná strana



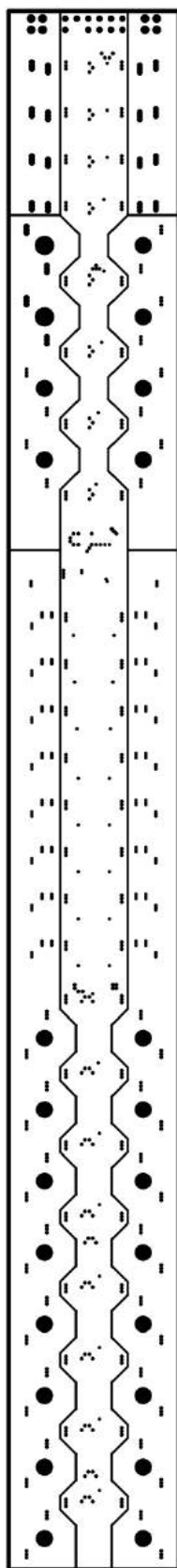
Obr. A.30: Nevodivý motív - priama neprekovená fréza



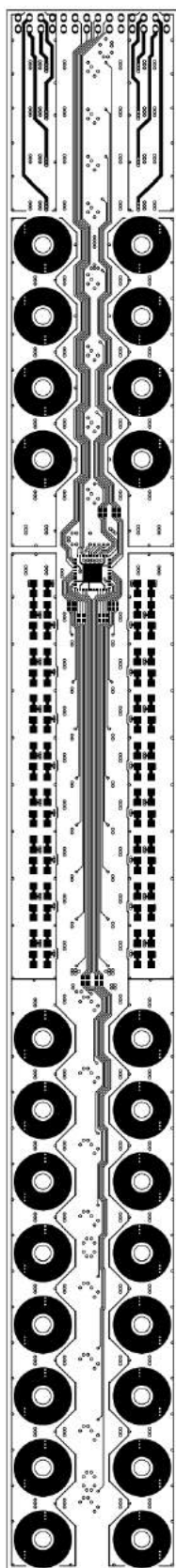
Obr. A.31: Vodivý motív - vrchná strana



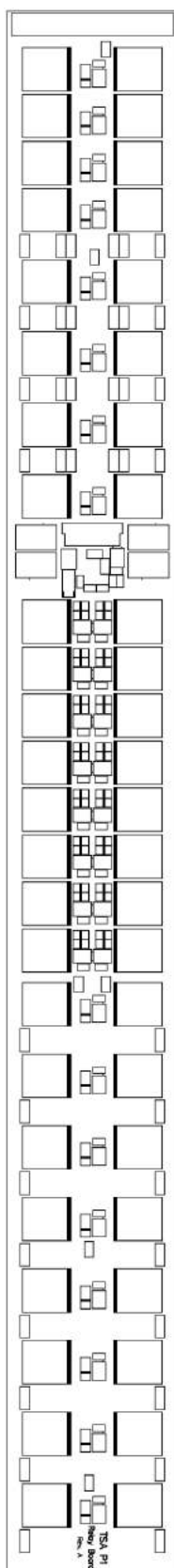
Obr. A.32: Vodivý motív - prvá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)



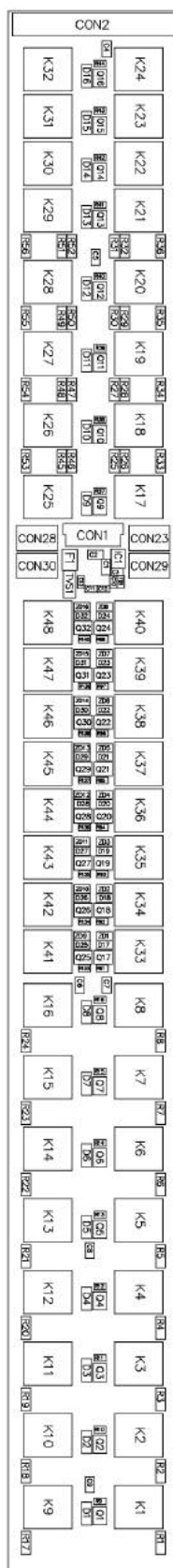
Obr. A.33: Vodičový motív - druhá vnútorná vrstva (negatívne zobrazenie)



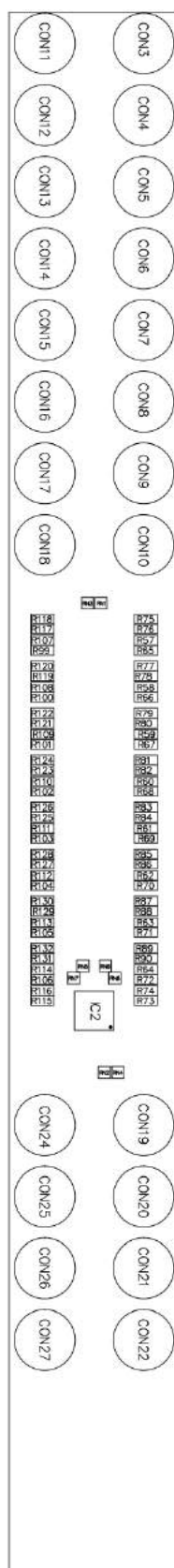
Obr. A.34: Vodivý motív - spodná strana



Obr. A.35: Servisná potlač - vrchná strana



Obr. A.36: Montážny výkres - vrchná strana



Obr. A.37: Montážny výkres - spodná strana

A.3 Zoznamy súčiastok

Bill of Materials

Source Data From: tsa_p1_aux_pcb.PrjPcb
 Project: tsa_p1_aux_pcb.PrjPcb
 Variant: None

Creation Date: 22. 5. 2017 0:30:49
 Print Date: 42877 42877,03311

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
CAPC1608X09N	1u	C0603	C1	1
CAPC1608X09N	100n	C0603	C2, C3	2
NJ3FD-V	NJ3FD-V	NJ3FD-V	CON1, CON2, CON3, CON5	4
ZL262-28DG	DS1021-2*14SF1-5	DS1021-2*14SF1-5	CON4	1
DS1021-1*2SF1-1	DS1021-1*2SF1-1	DS1021-1*2SF1-1	CON6, CON7	2
SN020-30	SN005-60	SN020-30	F1	1
PB160808	PBY160808T-601Y	PBY160808T-601Y	FB1	1
TSSOP-14	LM339PT	LM339PT	IC1	1
KP-3216	KP-3216F3C	KP-3216F3C	LED1, LED2, LED3, LED4	4
MFSOP6	TLP185(GB-TPR,SE)	TLP185(GB-TPR,SE)	OC1	1
SOT23-3	BSS215P	BSS215P	Q1	1
KP-3216	KP-3216P3C	KP-3216P3C	Q2, Q3, Q4, Q5	4
SOT23-3	BC847C	BC847C	Q6, Q8	2
SOT23-3	MMBFJ310	MMBFJ310	Q7	1
RESC1608X06N	4,7k	R0603	R1, R2, R3, R6, R7, R14, R16	7
RESC2012X06N	130R	R0805	R4, R5	2
RESC1608X06N	100R	R0603	R8	1
RESC1608X06N	47k	R0603	R9, R10, R11, R12	4
RESC2012X06N	36R	R0805	R13	1
RESC1608X06N	200R	R0603	R15	1
3305SMD	5k	3305SMD	VR1	1
SOD80	BZV55C16V	BZV55C12V	ZD1	1
				44

Approved	Notes

Bill of Materials

Source Data From:

tsa_p1_button_pcb.PrjPcb

Project:

tsa_p1_button_pcb.PrjPcb

Variant:

None

Creation Date:

22. 5. 2017

0:31:36

Print Date:

42877

42877,03386

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
DS1020-06-06BT1	DS1020-06-06BT1	DS1020-06-06BT1	CON1	1
LED0606	LTST-C195KGJRKT	LTST-C195KGJRKT	LED1	1
1275.1001	1275.1001	1275.1001	MP1	1
DTSM-61	DTSM-61R-V-B	DTSM-61R-V-B	SW1	1
				4
Approved		Notes		

Bill of Materials

Source Data From: tsa_p1_encoder_pcb.PrjPcb
Project: tsa_p1_encoder_pcb.PrjPcb
Variant: None

Creation Date: 22. 5. 2017 0:31:44
Print Date: 42877 42877,03521

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
DS1020-06-06BT1	DS1020-06-06BT1	DS1020-06-06BT1	CON1	1
PEC12R	PEC12R-4025F-S0024	PEC12R-4025F-S0024	SW1	1
				2

Approved	Notes

Bill of Materials

Source Data From: tsa_p1_mcu_pcb.PrjPcb
 Project: tsa_p1_mcu_pcb.PrjPcb
 Variant: None

Creation Date: 22. 5. 2017 0:31:52
 Print Date: 42877 42877,03733

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
CAPC2012X14N	22u	C0805	C1, C2, C11	3
CAPC2012X14N	10u	C0805	C3, C20	2
CAPC1608X09N	10n	C0603	C4, C6, C7, C8, C10, C19, C29, C30, C31, C32, C33	11
CAPC1608X09N	12p	C0603	C5, C9	2
CAPC1608X09N	4,7u	C0603	C12, C13	2
CAPC1608X09N	100n	C0603	C14, C15, C16, C17, C25	5
CAPC1608X09N	1u	C0603	C18, C26, C27, C28	4
CAPC1608X09N	68p	C0603	C21	1
CAPC2012X14N	4,7u	C0805	C22, C23, C24, C34	4
DS1031-08-2*3P8BS-4-1	DS1031-08-2*3P8BS-4-1	SWD-CONNECTOR	CON1	1
DS1020-06-06BT1	DS1020-06-06BT1	DS1020-06-06BT1	CON2, CON4	2
10FMN-BMT-A-TF	10FMN-BMT-A-TF	10FMN-BMT-A-TF	CON3	1
ER-CON30HT-1	ER-CON30HT-1	ER-CON30HT-1	CON5	1
SOD-323F	SD103AWS-F	SD103AWS-F	D1	1
SOD80	LL4148	LL4148	D2, D3	2
SN020-30	SN020-30	SN020-30	F1	1
PB160808	PBY160808T-601Y	PBY160808T-601Y	FB1, FB2, FB3	3
SOT-223	LD1117S33TR	LD1117S33TR	IC1	1
LQFP-48	STM32F030CCT6	STM32F030CCT6	IC2	1
TSOP-5	NCP1406SNT1G	NCP1406SNT1G	IC3	1
TSOP34838	TSOP34838	TSOP34838	IC4	1
WLPN303015	WLPN303015M100PB	WLPN303015M100PB	L1	1
SOT23-3	NX2301P	NX2301P	Q1	1
RESC1608X06N	4,7k	R0603	R1, R2, R17	3
RESC1608X06N	1k	R0603	R3, R4, R5, R8, R15, R18, R19, R20, R22	9
RESC2012X06N	100R	R0805	R6, R7, R21	3
RESC1608X06N	2k	R0603	R9, R10, R11	3
RESC1608X06N	1,3M	R0603	R12	1
RESC1608X06N	110k	R0603	R13	1
RESC1608X06N	910k	R0603	R14	1
RESC2012X06N	51R	R0805	R16	1
DTSM-61	DTSM-61R-V-B	DTSM-61R-V-B	SW1, SW2, SW3, SW4,	5
DO-214AC (SMA)	SMAJ5.0CA	SMAJ15CA	TVS1	1
SMD3225-12.000-12-30/30/A	SMD3225-12.000-12-30/30/A	SMD3225-12.000-12-30/30/A	XTAL1	1
SOD80	BZV55C3V9	BZV55C12V	ZD1	1
SOD80	BZV55C16V	BZV55C12V	ZD2	1

83

Approved	Notes

Bill of Materials

Source Data From: tsa_p1_preamp_pcb.PrjPcb
 Project: tsa_p1_preamp_pcb.PrjPcb
 Variant: None

Creation Date: 22. 5. 2017 0:32:35
 Print Date: 42877 42877,44365

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
CAPC1608X09N	1n	C0603	C1, C3, C15, C17, C20, C22, C34, C36	8
CAPC2012X14N	1u	C0805	C2, C4, C9, C13, C16, C18, C21, C23, C28, C32, C35, C37	12
C-ELEC-6,3X11-RM2,5	100u/35V	EKZM350ELL101MF11D	C5, C19, C24, C38	4
CAPC1608X09N	100n	C0603	C6, C7, C14, C25, C26, C33	6
CAPC1608X09N	47p	C0603	C8, C10, C27, C29	4
CAPC1608X09N	27p	C0603	C11, C30	2
CAPC1608X09N	150p	C0603	C12, C31	2
A1500WV-S-3P	A1500WV-S-3P	A1500WV-S-3P	CON1, CON2, CON3, CON4	4
ZL303-2X10P	ZL303-2X10P	ZL303-2X10P	CON5, CON6	2
PB201209	600R	PBY201209T-601Y	FB1, FB2, FB3, FB4, FB5, FB6, FB7, FB8	8
SOIC-8_S	TL071CD	TL071CD	IC1, IC2	2
SK609-50	SK609-50	SK609-50	MP1, MP2	2
SOT23-3_2	BC860C	BC860C	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q12, Q13, Q18, Q26, Q27, Q28, Q29, Q30, Q31, Q37, Q38, Q43	18
SOT23-3_2	BC850C	BC850C	Q7, Q8, Q10, Q11, Q15, Q16, Q20, Q21, Q22, Q23, Q24, Q25, Q32, Q33, Q35, Q36, Q40, Q41, Q45, Q46, Q47, Q48, Q49, Q50	24
TO220_V_SMT	2SC4793	2SC4793	Q9, Q34	2
TO126_V_SMT	BD140	BD140-16	Q14, Q39	2
TO126_V_SMT	BD139	BD139-16	Q17, Q42	2
TO220_V_SMT	2SA1837	2SA1837	Q19, Q44	2
RES-MELF-MMA0204_S	1k	R-MMA0204_S	R1, R8, R17, R21, R31, R38, R45, R54, R58, R68	10
RES-MELF-MMA0204_S	10k	R-MMA0204_S	R2, R9, R19, R39, R46, R56	6
RES-MELF-MMA0204_S	300R	R-MMA0204_S	R3, R4, R34, R35, R40, R41, R71, R72	8
RES-MELF-MMA0204_S	75R	R-MMA0204_S	R5, R42	2
RES-MELF-MMA0204_S	320R	R-MMA0204_S	R6, R37, R43, R74	4
RES-MELF-MMA0204_S	110R	R-MMA0204_S	R7, R44	2
RES-MELF-MMA0204_S	20k	R-MMA0204_S	R10, R29, R30, R47, R66, R67	6
RES-MELF-MMA0204_S	10R	R-MMA0204_S	R11, R28, R48, R65	4
RES-MELF-MMA0204_S	47R	R-MMA0204_S	R12, R13, R49, R50	4
RES-MELF-MMA0204_S	1R	R-MMA0204_S	R14, R25, R51, R62	4
RES-MELF-MMA0204_S	27R	R-MMA0204_S	R15, R18, R22, R52, R55, R59	6
RES-MELF-MMA0204_S	470k	R-MMA0204_S	R16, R20, R53, R57	4
RES-MELF-MMA0204_S	100R	R-MMA0204_S	R23, R26, R27, R60, R63, R64	6
RES-MELF-MMA0204_S	NC	R-MMA0204_S	R24, R61	2
RES-MELF-MMA0204_S	160R	R-MMA0204_S	R32, R69	2
RES-MELF-MMA0204_S	47k	R-MMA0204_S	R33, R36, R70, R73	4
MicroMELF	BZM55C5V1	BZM55C4V7	ZD1, ZD2, ZD3, ZD4, ZD5, ZD6	6
				186

Approved	Notes

Bill of Materials

Source Data From: tsa_p1_psu_pcb.PrjPcb
 Project: tsa_p1_psu_pcb.PrjPcb
 Variant: None

Creation Date: 22. 5. 2017 0:33:36
 Print Date: 42877 42877,04334

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
DB-1S	DB151S	DB101S	BR1, BR2, BR3, BR4, BR5	5
C-9X18-RM15	470n/275V	B32922C3474M	C1, C2	2
C-ELEC-10X25-RM5	1,2m/16V	ELXZ160ELL122MJ25S	C3, C4, C5	3
CAPC2012X14N	10u	C0805	C6	1
CAPC2012X14N	22u	C0805	C7, C8	2
CAPC1608X09N	100n	C0603	C9, C24, C31, C38	4
CAPC3216X18N	10u	C1206	C10, C11, C17, C25, C26, C28, C32, C33, C35, C39, C40, C46	12
CAPC3216X18N	NC	C1206	C12, C27, C34, C41	4
C-ELEC-12,5X25-RM5	1m/35V	ELXZ350ELL102MK25S	C13, C14, C15, C16, C19, C20, C21, C22, C42, C43, C44, C45, C47, C48, C49, C50	16
CAPC3216X18N	100u	C1206	C18, C29, C36, C51	4
CAPC3216X18N	22u	C1206	C23, C30, C37, C52	4
NS39-W3P	NS39-W3P	NS39-W3P	CON1	1
DS1020-04-10BVT1	DS1020-04-10BVT1	DS1020-04-10BVT1	CON2, CON3	2
ZL265-20DG	ZL265-20DG	ZL265-20DG	CON4, CON5	2
SOD80	LL4148	LL4148	D1, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10	9
DO-214AC (SMA)	S1A	S1A	D2	1
TO220-H	L7805ACV	L7805ACV	IC1	1
TO220-H	LM317T	LM317T	IC2, IC8	2
SOIC-8	NE5534AD	NE5534AD	IC3, IC6, IC9, IC12	4
SOIC-8	TL431ACD	TL431ACD	IC4, IC7, IC10, IC13	4
TO220-H	LM337T	LM337T	IC5, IC11	2
JV-5S-KT	JV-5S-KT	JV-5S-KT	K1	1
CAX_2	CAX-0.4-39	CAX-0.4-39	L1	1
CAV_2	CAV-0.4-47	CAV-0.4-47	L2, L3, L4, L5	4
LED0805	LTST-C170KGKT	LTST-C170KGKT	LED1, LED2, LED3, LED4	4
HS132-25	HS132-25	HS132-25	MP1	1
SOT23-3	BSS215P	BSS215P	Q1	1
TO220-H	D44H11	D44H11	Q2, Q6	2
SOT23-3	BC857C	BC857C	Q3, Q7	2
TO220-H	D45H11	D45H11	Q4, Q8	2
SOT23-3	BC847C	BC847C	Q5, Q9	2
R0207-RM15	1M	R0207-RM15	R1	1
RESC1608X06N	4,7k	R0603	R2	1
RESC1608X06N	47R	R0603	R3	1
RES-MELF-MMA0204	1k	R-MMA0204	R4, R10, R13, R19, R22, R28, R31, R37	8
RES-MELF-MMA0204	240R	R-MMA0204	R5, R14, R23, R32	4
RES-MELF-MMA0204	510R	R-MMA0204	R6, R12, R15, R21, R24, R30, R33, R39	8
RES-MELF-MMA0204	3,6k	R-MMA0204	R7, R8, R16, R17, R25, R26, R34, R35	8
RES-MELF-MMA0204	10R	R-MMA0204	R9, R18, R27, R36	4
RES-MELF-MMA0204	12k	R-MMA0204	R11, R20, R29, R38	4
VAR14-275	VAR14-275	VAR14-275	RV1	1
7003X	70030K	70030K	T1	1
7004X	70045K	70045K	T2, T3	2
DO-214AA (SMB)	SMBJ13CA	SMBJ5.0CA	TVS1	1
DO-214AA (SMB)	SMBJ33CA	SMBJ5.0CA	TVS2, TVS3, TVS4, TVS5	4
SOD80	BZV55C6V8	BZV55C12V	ZD1, ZD2, ZD3, ZD4	4

157

Approved	Notes

Bill of Materials

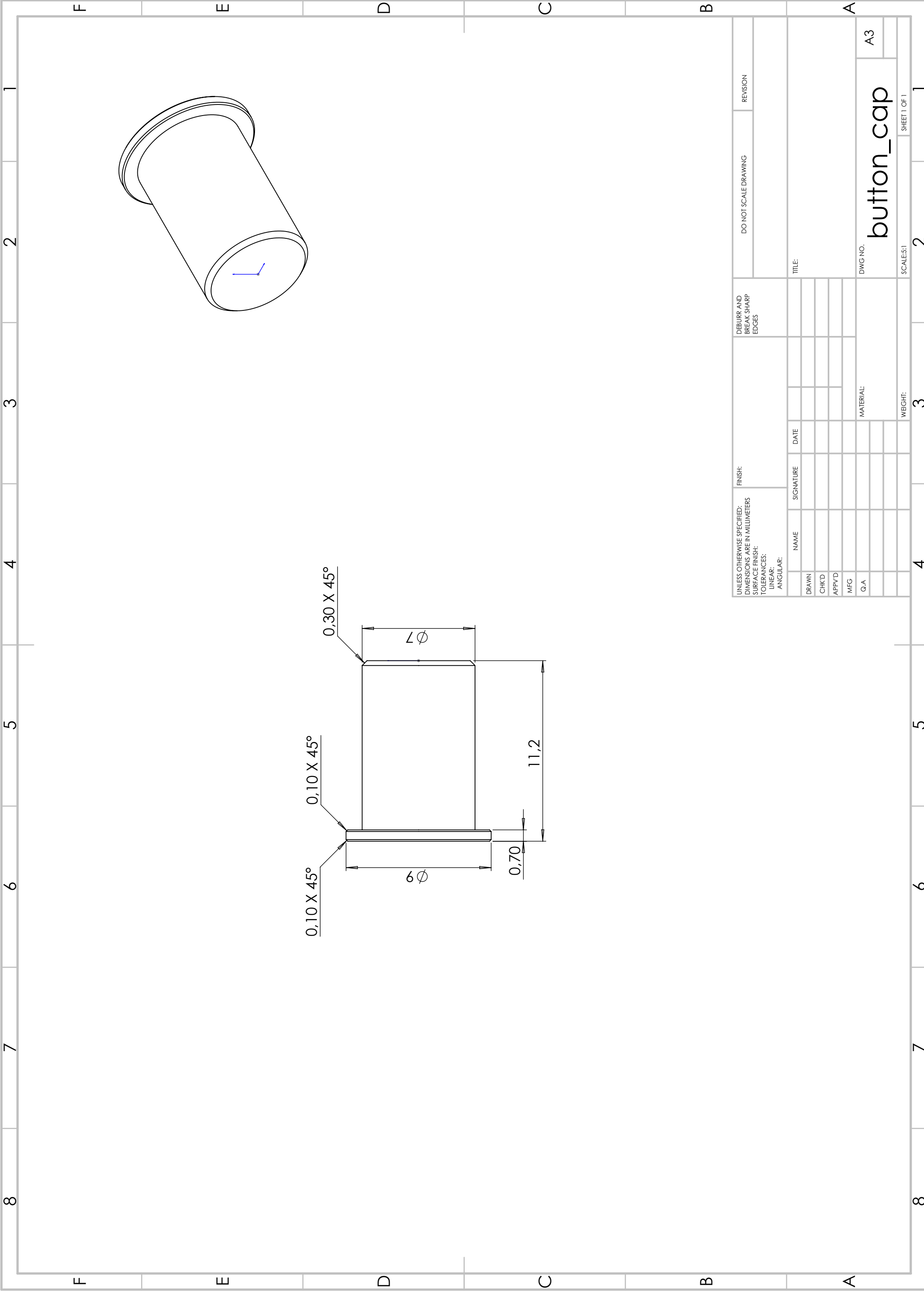
Source Data From: tsa_p1_relay_pcb.PrjPcb
 Project: tsa_p1_relay_pcb.PrjPcb
 Variant: None

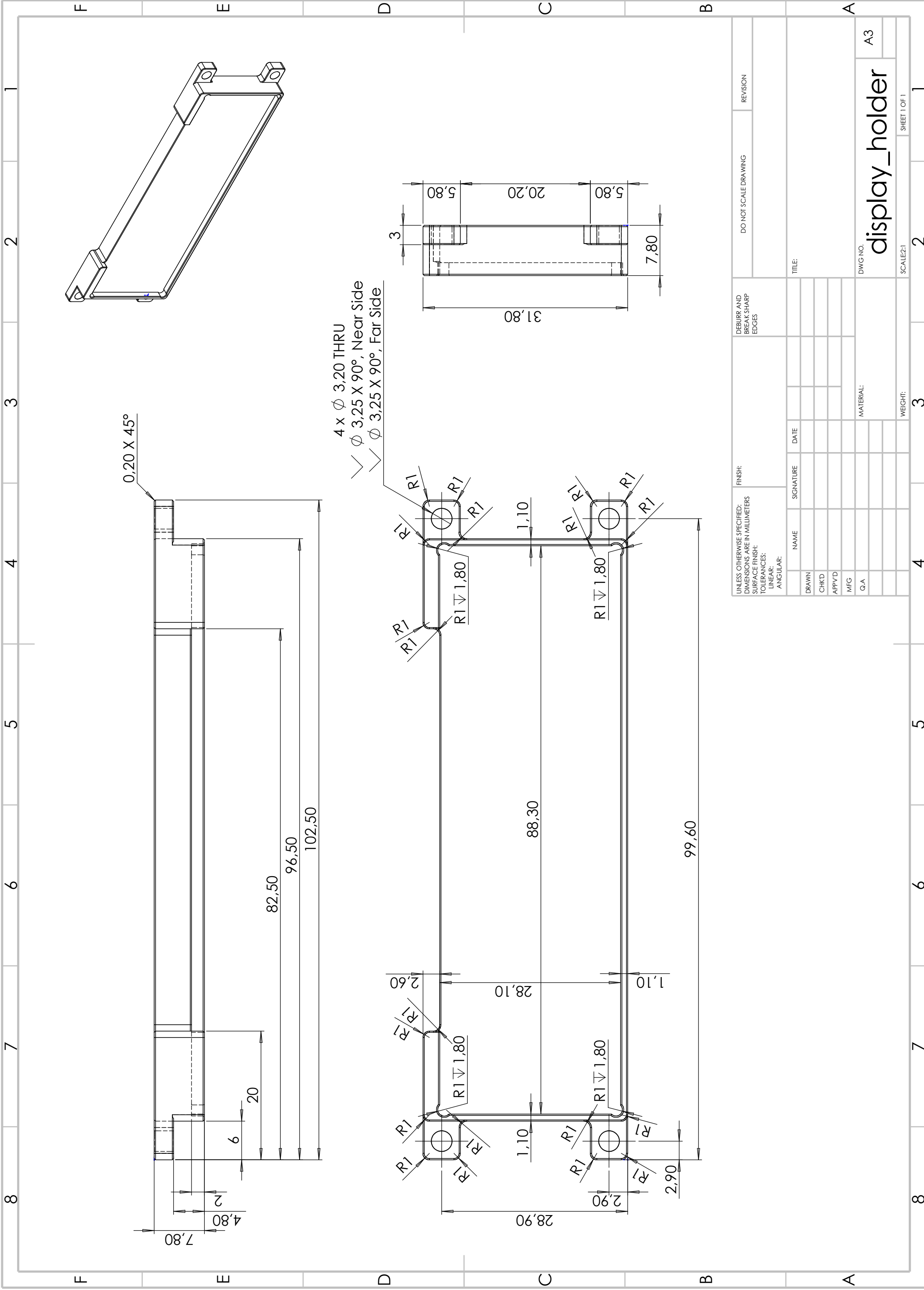
Creation Date: 22. 5. 2017 0:34:12
 Print Date: 42877 42877,04782

Footprint	Comment	LibRef	Designator	Quantity
CAPC2012X14N	22u	C0805	C1, C2, C4, C5, C6, C7, C8, C9	8
CAPC1608X09N	4,7u	C0603	C3	1
CAPC1608X09N	1u	C0603	C10, C11	2
CAPC1608X09N	100n	C0603	C12, C13	2
10FMN-BMT-A-TF	10FMN-BMT-A-TF	10FMN-BMT-A-TF	CON1	1
ZL262-28DG	ZL262-28DG	ZL262-28DG	CON2	1
RJ-129FNG-TEF-XX	RJ-129FNG-TEF-XX	RJ-129FNG-TEF-XX	CON3, CON4, CON5, CON6, CON7, CON8, CON9, CON10, CON11, CON12, CON13, CON14, CON15, CON16, CON17, CON18, CON19, CON20, CON21, CON22, CON24, CON25, CON26, CON27	24
A1500WV-S-3P SOD80	A1500WV-S-3P LL4148	A1500WV-S-3P LL4148	CON23, CON28, CON29, CON30	4
MicroMELF	MCL4148	MCL4148	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11, D12, D13, D14, D15, D16	16
SM050-16	SM050-16	SM050-16	D17, D18, D19, D20, D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D29, D30, D31, D32	16
PB160808	PBY160808T-601Y	PBY160808T-601Y	F1	1
TSOP-5	MIC5504-3.3YM5	MIC5504-3.3YM5	FB1	1
HVQFN-56	PCA9506BS	PCA9506BS	IC1	1
FTR-B3GA	FTR-B3GA4.5Z-B10	FTR-B3GA4.5Z-B10	IC2	1
			K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16, K17, K18, K19, K20, K21, K22, K23, K24, K25, K26, K27, K28, K29, K30, K31, K32, K33, K34, K35, K36, K37, K38, K39, K40, K41, K42, K43, K44, K45, K46, K47, K48	48
SOT23-3	BSS215P	BSS215P	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9, Q10, Q11, Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17, Q18, Q19, Q20, Q21, Q22, Q23, Q24, Q25, Q26, Q27, Q28, Q29, Q30, Q31, Q32	32
RES-MELF-MMA0204	100k	R-MMA0204	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R33, R34, R35, R36, R53, R54, R55, R56	24
RESC1608X06N	4,7k	R0603	R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R91, R92, R93, R94, R95, R96, R97, R98, R133, R134, R135, R136, R137, R138, R139, R140	32
RES-MELF-MMA0204	80R	R-MMA0204	R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R45, R46, R47, R48, R49, R50, R51, R52	16
RES-MELF-MMA0204	220R	R-MMA0204	R57, R99	2
RES-MELF-MMA0204	470R	R-MMA0204	R58, R100	2
RES-MELF-MMA0204	910R	R-MMA0204	R59, R101	2
RES-MELF-MMA0204	1,3k	R-MMA0204	R60, R102	2
RES-MELF-MMA0204	2,4k	R-MMA0204	R61, R103	2
RES-MELF-MMA0204	3,9k	R-MMA0204	R62, R63, R67, R70, R71, R82, R104, R105, R109, R112, R113, R124	12
RES-MELF-MMA0204	NC	R-MMA0204	R64, R73, R89, R106, R115, R131	6
RES-MELF-MMA0204	20k	R-MMA0204	R65, R107	2
RES-MELF-MMA0204	3,3k	R-MMA0204	R66, R108	2
RES-MELF-MMA0204	16k	R-MMA0204	R68, R78, R110, R120	4
RES-MELF-MMA0204	5,6k	R-MMA0204	R69, R111	2

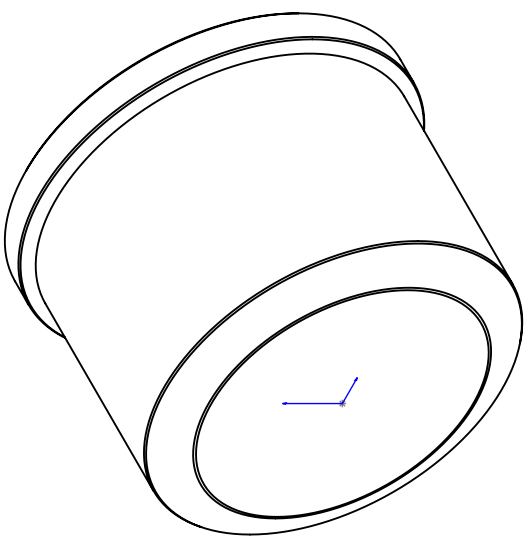
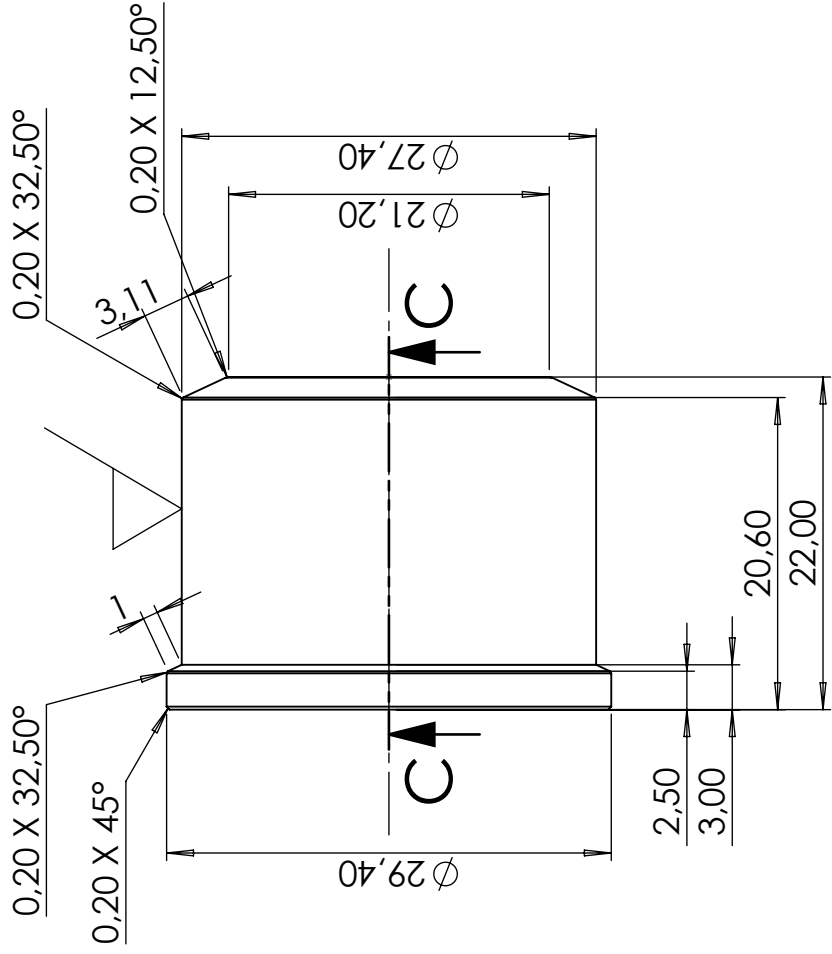
RES-MELF-MMA0204	2k	R-MMA0204	R72, R74, R81, R114, R116, R123	6
RES-MELF-MMA0204	30k	R-MMA0204	R75, R117	2
RES-MELF-MMA0204	36k	R-MMA0204	R76, R118	2
RES-MELF-MMA0204	15k	R-MMA0204	R77, R119	2
RES-MELF-MMA0204	3,6k	R-MMA0204	R79, R121	2
RES-MELF-MMA0204	68k	R-MMA0204	R80, R122	2
RES-MELF-MMA0204	390R	R-MMA0204	R83, R125	2
RES-MELF-MMA0204	11k	R-MMA0204	R84, R126	2
RES-MELF-MMA0204	62R	R-MMA0204	R85, R87, R127, R129	4
RES-MELF-MMA0204	300R	R-MMA0204	R86, R88, R128, R130	4
RES-MELF-MMA0204	0R	R-MMA0204	R90, R132	2
CAC-50P200X100-8N	47R	YC124-JR	RN1, RN2, RN3, RN4, RN5, RN6, RN7, RN8	8
DO-214AC (SMA)	SMAJ5.0CA	SMAJ15CA	TVS1	1
MicroMELF	BZM55C4V7	BZM55C4V7	ZD1, ZD2, ZD3, ZD4, ZD5, ZD6, ZD7, ZD8, ZD9, ZD10, ZD11, ZD12, ZD13, ZD14, ZD15, ZD16	16
				324
Approved		Notes		

A.4 Výkresy

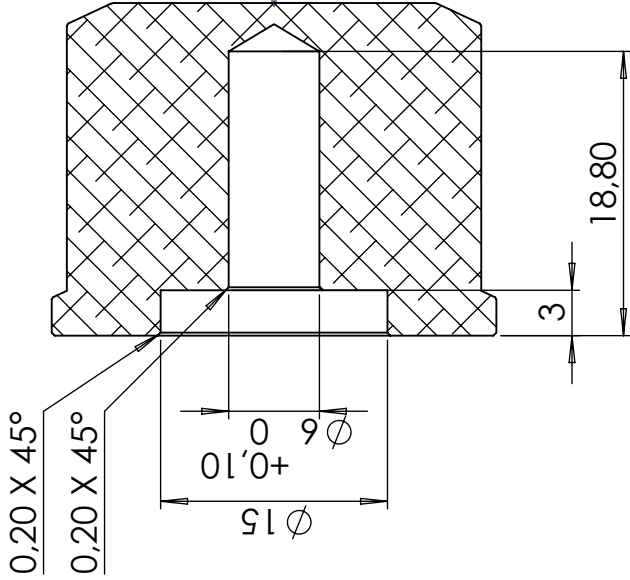




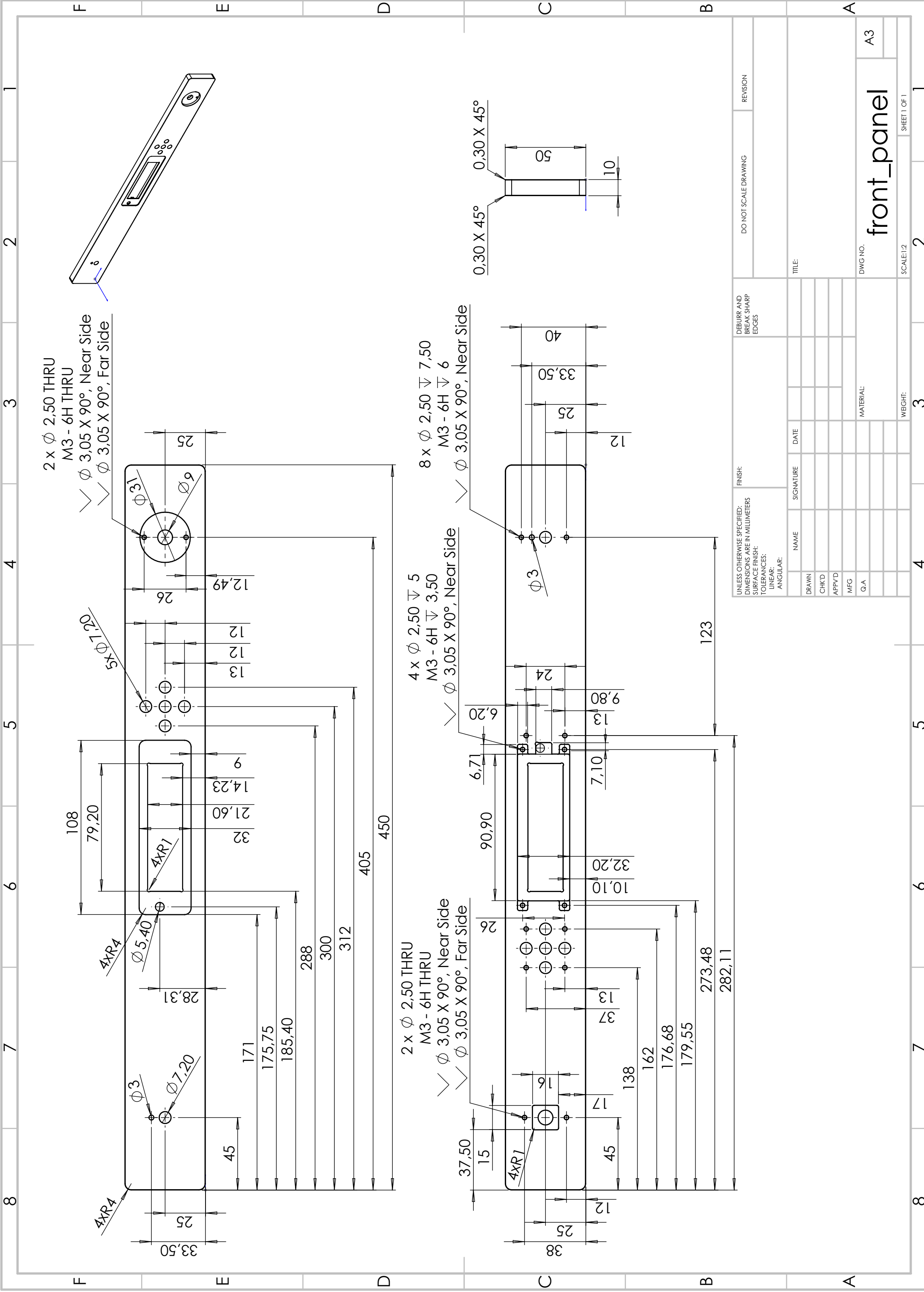
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:		TOLERANCES:		TITLE:					
LINEAR:		ANGULAR:							
NAME	SIGNATURE	DATE							
DRAWN									
CHKD									
APPV'D									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						display_holder			
						SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	

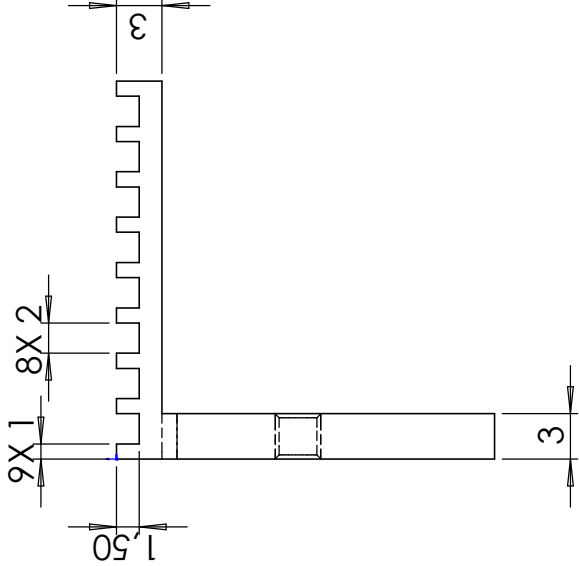
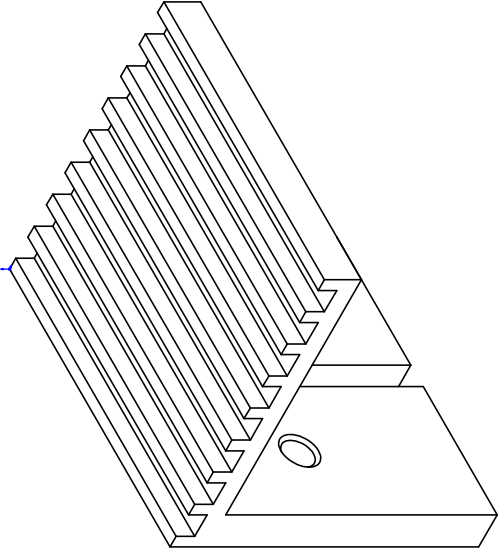
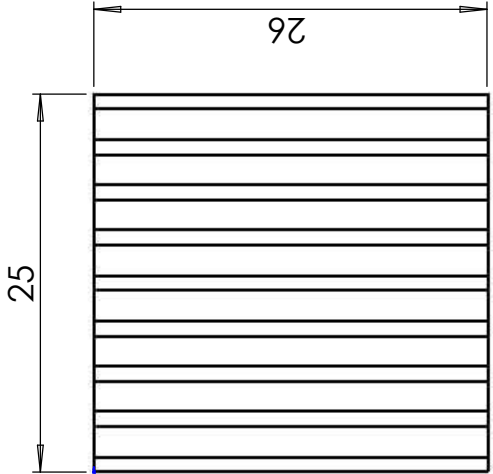


SECTION C-C

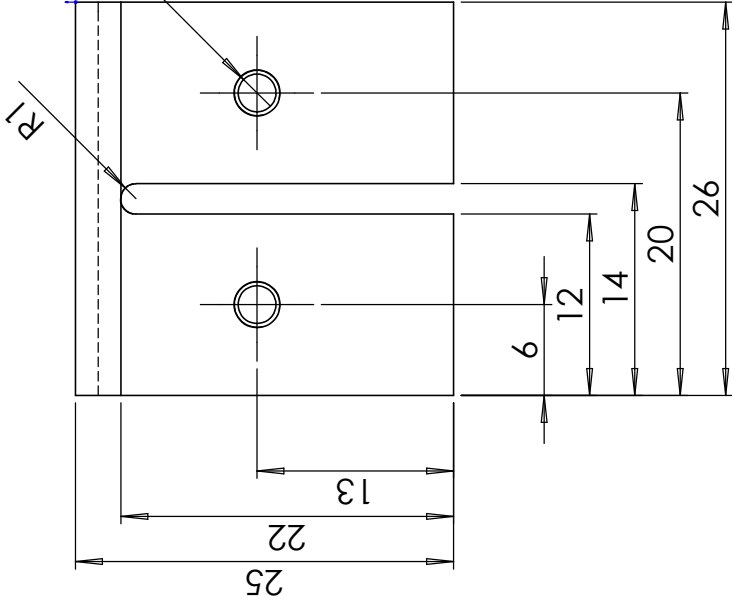


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:		TOLERANCES:		TITLE:					
LINEAR:		ANGULAR:							
NAME	SIGNATURE	DATE							
DRAWN									
CHK'D									
APPV'D									
MFG									
Q.A									
				MATERIAL:		DWG NO.		A3	
						encoder_knob			
				WEIGHT:		SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	

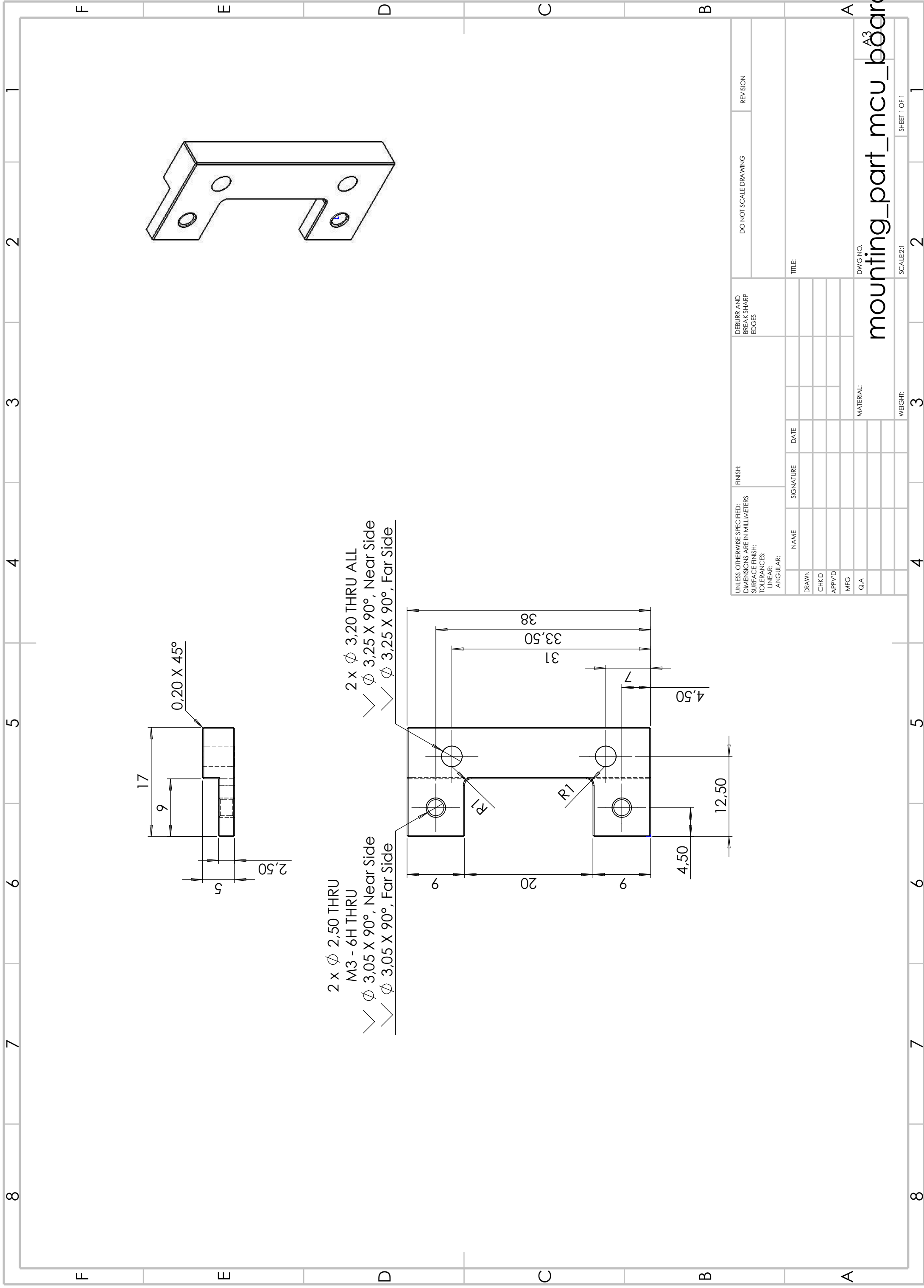


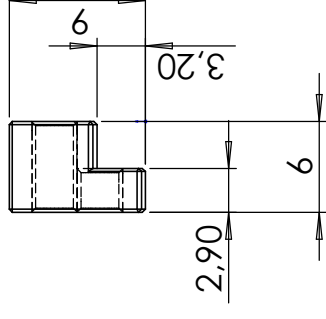
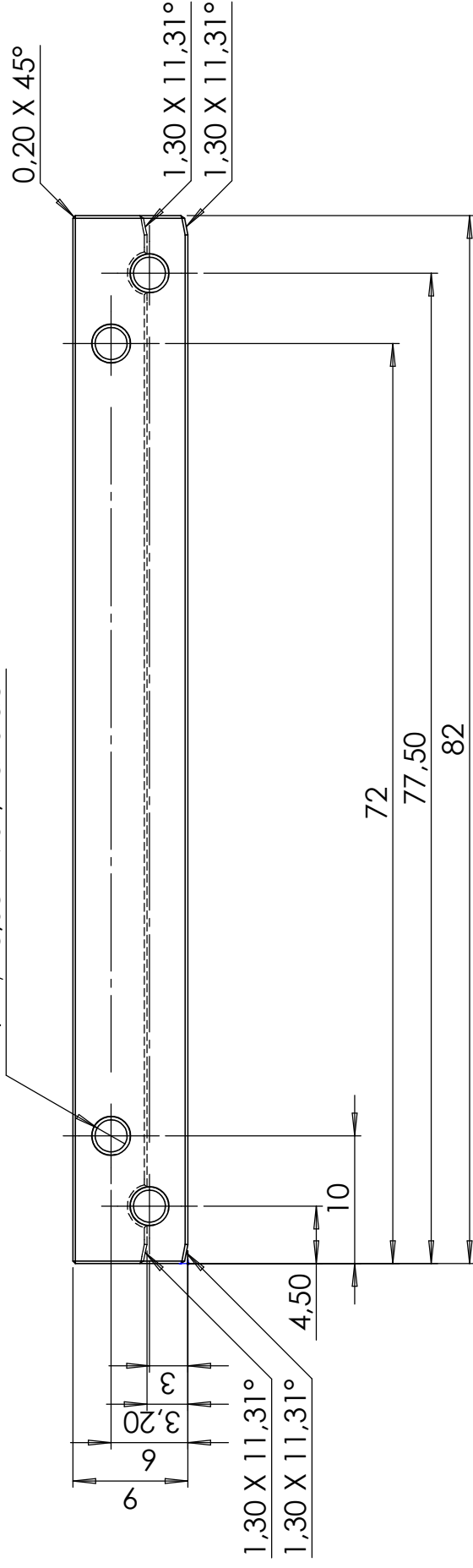
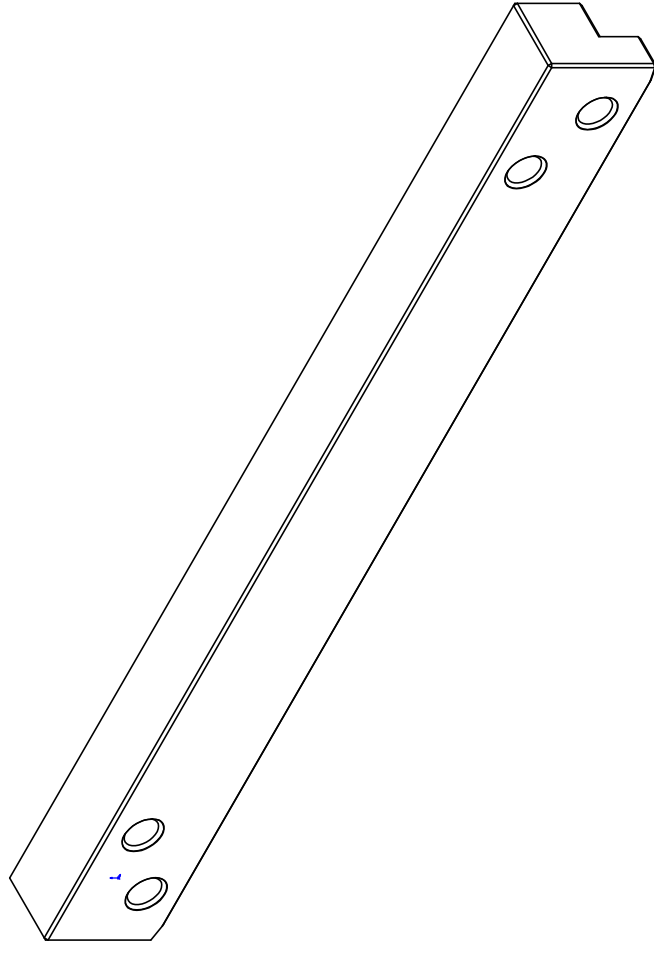


2 x ϕ 2,50 THRU ALL
M3 - 6H THRU ALL
✓ ϕ 3,05 X 90°, Near Side
✓ ϕ 3,05 X 90°, Far Side



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION
								TITLE:		
								DWG NO.		
								heatsink		A3





UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:											
TOLERANCES:											
LINEAR:											
ANGULAR:											
NAME		SIGNATURE		DATE				TITLE:			
DRAWN											
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A											
MATERIAL:						DWG NO.					
mounting_part_preamp_bo						A3					
WEIGHT:						SCALE:2:1					
						SHEET 1 OF 1					

B FOTODOKUMENTÁCIA



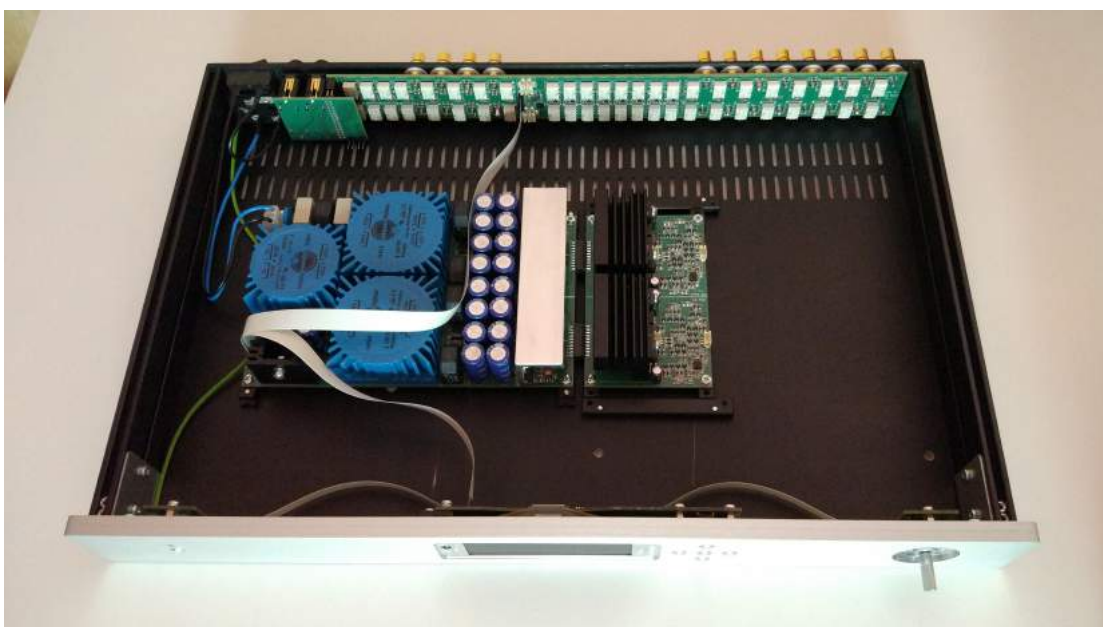
Obr. B.1: Predný pohľad na hotové zariadenie v pohotovostnom stave



Obr. B.2: Predný pohľad na hotové zariadenie v zapnutom stave



Obr. B.3: Zadný pohľad na hotové zariadenie



Obr. B.4: Vrchný pohľad na hotové zariadenie bez krytu